

Studijní program: Chemie
Studijní obor: Chemie životního prostředí



Bc. Michal Kunert

Hodnocení vlivu čistíren odpadních vod na kvalitu
vody v recipientu

The impact assessment of water treatment plants on
water quality in the recipient

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Ing. Libuše Benešová, CSc.

Praha 2013

Tato diplomová práce vznikla v souvislosti s řešením výzkumného
záměru MSM0021620857.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto závěrečnou práci zpracoval samostatně pod vedením školitele Ing. Libuše Benešové, CSc., a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

Jsem si vědom toho, že případné využití výsledků získaných v této práci, mimo Univerzitu Karlovu v Praze, je možné pouze po písemném souhlasu této univerzity.

V Praze dne 7. května 2013.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu své diplomové práce, Ing. Libuši Benešové, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce a za veškerý čas, který mi věnovala.

Abstrakt

Ovlivňování vodních toků antropogenní činností narůstá v posledních letech a toky ztrácejí svůj přirozený charakter. Tato situace se týká zejména malých toků, s minimálními průtoky. Předkládaná práce se zabývá hodnocením stavu toků, ovlivněných vypouštěním čištěných odpadních vod z malých ČOV. Výsledky ukázaly, že při průměrných průtocích v recipientu žádná ze sledovaných čistíren odpadních vod tok negativně neovlivňuje. Problémy mohou nastat v době tání sněhu, kdy snížené teploty vody přitékající na čistírnu odpadních vod negativně ovlivňují biologické čistící pochody.

Abstract

Watercourses influenced by anthropogenic activity increases in recent years and streams lose their natural character. This situation is critical particularly in small streams with minimal flow rates. The present work deals with the assessment of streams affected by discharges of treated wastewater from small waste water treatment plants. The results showed that in case of average flow in the recipient none of the monitored waste water treatment plants do not negatively affect the stream. Problems can occur when snow melts, when the lower temperature of the flowing water in the wastewater treatment plants negatively affect biological cleaning processes.

Obsah

1	Úvod.....	8
2	Teoretická část	9
2.1	Legislativa	9
2.2	Evropská legislativa	9
2.2.1	Směrnice 2000/60/ES	9
2.2.2	Směrnice 2006/11/ES	11
2.2.3	Směrnice 91/676/EHS	12
2.2.4	Směrnice 75/440/EHS	13
2.2.5	Směrnice 91/271/EHS	13
2.3	Česká legislativa	14
2.3.1	Zákon o vodách	14
2.3.2	Nařízení vlády č.61/2003 Sb.....	15
2.3.3	Vyhláška č.293/2002 Sb.	18
2.3.4	Zdroje znečištění	18
2.4	Stav čistíren odpadních vod	20
2.4.1	Současný stav v České republice.....	21
2.5	Čištění odpadních vod	26
2.6	Mechanické čištění.....	28
2.7	Biologické čištění.....	30
2.8	Čistírny odpadních vod	45
2.8.1	Čistírna odpadních vod Dolní Čermná	45
2.8.2	Čistírna odpadních vod Dolní Dobrouč	48
2.8.3	Čistírna odpadních vod Jablonné nad Orlicí	50
2.8.4	Čistírna odpadních vod Výprachtice	52
2.9	Charakteristika stanovovaných ukazatelů	55

3	<i>Praktická část</i>	59
3.1	Stanovení jednotlivých ukazatelů	59
4	<i>Výsledky</i>	62
5	<i>Diskuse</i>	70
6	<i>Závěr</i>	74
7	<i>Seznam literatury</i>	75
8	<i>Přílohy</i>	78

Seznam použitých zkratk a symbolů

BSK ₀	biochemická spotřeba kyslíku nultý den
BSK ₅	biochemická spotřeba kyslíku pětidení
c	molární koncentrace (mol/l)
ČOV	čistírna odpadních vod
EO	ekvivalentní obyvatel
EU	Evropská unie
CHSK _{Mn}	chemická spotřeba kyslíku manganistanem (mg/l)
CHSK _{Cr}	chemická spotřeba kyslíku dichromanem (mg/l)
KNK _{4,5}	kyselinová neutralizační kapacita (mmol/l)
N	normalita
N _{celk.}	celkový dusík
NL	nerozpuštěné látky
PHB	kyselina poly-β-hydroxymáselná
P _{celk.}	celkový fosfor
Q _d	průměrný denní průtok (m ³ /s)
Q _{dmax}	maximální denní průtok (m ³ /s)
Q _h	hodinový průtok (m ³ /s)
Q _{hmax}	maximální hodinový průtok za bezdeštného období (m ³ /s)
Q _{krit}	hodnota kritického průtoku (m ³ /s)
Q _{max}	maximální průtok za měrné období (m ³ /s)
Q _{min}	minimální průtok za měrné období (m ³ /s)
Q _{pr}	průměrná hodnota průtoku (m ³ /s)
Q ₂₄	průměrný denní průtok za bezdeštného období (m ³ /s)
ZNK _{8,5}	zásadová neutralizační kapacita (mmol/l)
κ	elektrolytická vodivost (μS/cm)
ZT	zásobní tank

1 Úvod

Obecným cílem státní politiky v oblasti vod je vytvořit podmínky pro udržitelné hospodaření s omezeným vodním bohatstvím České republiky. To znamená soulad požadavků všech forem užívání vodních zdrojů s požadavky ochrany vod a vodních ekosystémů. Hlavní zásady státní politiky v oblasti vod pak vycházejí z tzv. Rámcové směrnice EU o vodní politice a dalších směrnic z oblasti voda a z obnovené strategie EU pro udržitelný rozvoj.

Ochrana vod je komplexní činností spočívající v ochraně množství a jakosti povrchových i podzemních vod.

Základním právním předpisem Evropského parlamentu a Rady ustavujícím rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky členských států je směrnice 2000/60/ES z 23. října 2000. Ochranu vod, jejich využívání a práva k nim upravuje zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). Některá jeho paragrafová ustanovení jsou upřesněna či rozvedena tzv. podzákonnými předpisy (nařízení vlády, vyhlášky).

Cílem je v souladu s požadavky legislativy Evropské unie zlepšování stavu vodních toků, vodních ekosystémů a podpora trvale udržitelného užívání vod.

V této diplomové práci se zabývám vlivem čtyř malých čistíren odpadních vod v obcích Dolní Čermná, Dolní Dobrouč, Jablonné nad Orlicí a Výprachtice. Všechny obce se nachází ve východních Čechách. Vliv čistíren odpadních vod na kvalitu toků byl zjišťován pomocí stanovení základních fyzikálně-chemických parametrů a koncentrací příslušných iontů ve vzorcích vody.

2 Teoretická část

2.1 Legislativa

Před uvedením čistírny odpadních vod do provozu a vypouštěním odpadních vod do vodního toku je nutné, aby čistírna splňovala požadavky příslušných norem a směrnic. Při nesplnění požadovaných podmínek a limitu je nutná rekonstrukce nebo intenzifikace čistírny odpadních vod.

2.2 Evropská legislativa

Základní závaznou legislativou o čištění odpadních vod je pro členské státy Evropské unie Směrnice 2000/60/ES Evropského parlamentu a Rady, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky a Směrnice rady 91/271 EHS o čištění městských odpadních vod.

2.2.1 Směrnice 2000/60/ES

Mezi poslední předpisy, které se týkají vodního práva, patří Směrnice č.2000/60/ES Evropského parlamentu a Rady, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky a vychází ze skutečnosti, že voda není běžný obchodní produkt, ale spíše dědictví, které je třeba chránit, střežit a podle toho s ním nakládat. Voda je důležitou složkou životního prostředí s nenahraditelnou hodnotou umožňující samotnou existenci života na Zemi. Z důvodu stále rostoucích požadavků, podléhají vody ve Společenství nárokům na dostatečné množství vody v dobré jakosti. Na základě těchto požadavků je třeba učinit opatření na ochranu vod ve Společenství, z hlediska jakosti i množství, a je třeba vytvořit propojení vodní politiky Společenství. Zajištění odpovídajícího zásobování obyvatelstva pitnou vodou by mělo být dosaženo postupným snižováním vypouštění nebezpečných látek do vod.

Tato směrnice usiluje o udržení a zlepšení vodního prostředí ve Společenství a tento účel se v první řadě týká jakosti příslušných vod. Konečným cílem směrnice je dosáhnout odstranění nebezpečných látek a přispět k dosažení koncentrací látek v mořském prostředí, které jsou blízké hodnotám

jejich přirozeného výskytu.

Pokud je vodní útvar příliš ovlivněn lidskou činností nebo díky přírodním poměrům je dosažení dobrého stavu nemožné nebo příliš nákladné, mohou být na základě jasně stanovených kritérií určeny méně přísné environmentální cíle se stanovenými postupy, které by zabránily dalšímu zhoršování kvality vody.

Za účelem ochrany životního prostředí je třeba důslednějšího provázání kvalitativních a kvantitativních aspektů jak povrchových, tak podzemních vod s ohledem na přirozené odtokové poměry v rámci hydrologického cyklu.

Důležitým krokem je provedení analýzy charakteristik povodí a dopadů lidské činnosti společně s ekonomickou analýzou užívání vod. Členské státy by měly sledovat vývoj stavu vod na uspořádaném a srovnatelném základě v rámci celého Společenství. Na základě těchto nezbytných informací, které poskytnou bezpečný rámec, vytvoří členské státy programy na opatření k dosažení cílů stanovených touto směrnicí.

Dalším důležitým krokem je snížení nebo předcházení nehod, v důsledku kterých jsou vody velmi často havarijně znečišťovány. Vodní politika Společenství má být založena, s ohledem na prevenci a omezování znečišťování, na sdruženém přístupu s využitím snižování znečišťování u zdroje stanovením mezních hodnot emisí a norem environmentální kvality.

Společenství stanoví, svými právními předpisy, minimální požadavky společné normy environmentální kvality a mezní hodnoty emisí pro určité skupiny nebo druhy znečišťujících látek. Přijetí těchto norem a jejich opatření je zajištěno na úrovni Společenství.

Postupně by se mělo odstranit nebo zastavit znečišťování vypouštěním, emisemi nebo úniky prioritních nebezpečných látek. Na návrh komise by se měl Evropský parlament a Rada dohodnout na látkách, které budou přednostně zohledňovat při přijímání opatření, a na určitých opatřeních, která mají být přijata proti znečišťování vod těmito látkami.

Cílem této směrnice je stanovit rámec pro ochranu vnitrozemských povrchových vod, brakických vod a podzemních vod, který zabrání dalšímu zhoršování a ochrání a zlepší stav vodních ekosystémů. Dále pak usiluje o zvýšenou ochranu a zlepšení vodního prostředí, prostřednictvím specifických

opatření pro cílené snižování vypouštění, emisí a úniků prioritních nebezpečných látek. [1]

2.2.2 Směrnice 2006/11/ES

Cílem směrnice je zabezpečit všeobecný a vzájemně provázaný postup členských států v oblasti ochrany vodního prostředí Společenství před znečišťováním způsobovaným zejména některými perzistentními, toxickými a bioakumulativními látkami.

Na základě toxicity, perzistence a bioakumulace, s výjimkou látek, které jsou biologicky neškodné nebo se v neškodné látky rychle přeměňují, bylo nutné sestavit seznam látek, nazvaný *seznam I*, a *seznam II*, látek se škodlivým účinkem na vodní prostředí, který ale může být omezen na určitou oblast. Může záviset i na vlastnostech a místě výskytu vod, do nichž se látky vypouštějí. Smyslem těchto seznamů je zajištění účinné ochrany vodního prostředí Společenství. Vypouštění látek, uvedených v seznamech, by mělo podléhat udělenému povolení, v kterém jsou stanoveny emisní normy.

Vypouštění látek, uvedených v seznamu I musí být odstraněno, vypouštění látek ze seznamu II je nutné snížit a členské státy by měly přijmout programy sestavené v souladu s případnými směnicemi Rady, obsahující normy environmentální kvality pro vody. [2]

Tabulka č. 1 Směrnice 2006/11/ES – seznam I

1.	organohalogenové sloučeniny a látky, které mohou tvořit takové sloučeniny ve vodním prostředí
2.	organofosforové sloučeniny
3.	organocínové sloučeniny
4.	látky, u kterých bylo prokázáno, že mají karcinogenní vlastnosti ve vodním prostředí nebo je nabývají působením vodního prostředí
5.	rtuť a její sloučeniny
6.	kadmium a jeho sloučeniny
7.	perzistentní minerální oleje a uhlovodíky ropného původu
8.	persistenční syntetické látky, které se mohou vznášet, zůstávat v suspenzi nebo klesnout ke dnu a které mohou nepříznivě ovlivňovat veškeré používání vod

Seznam II obsahuje látky náležející do tříd a skupin látek ze seznamu I, u nichž mezní hodnoty emisí stanovené směnicemi uvedenými v příloze IX

směrnice 2000/60/ES, nebyly uvedenými směrnicemi stanoveny a některé látky a kategorie látek náležející do tříd a skupin látek, které mají škodlivý účinek na vodní prostředí, který však může být omezen na určitou oblast a záviset na vlastnostech a místě výskytu vod, do nichž se vypouštějí.

Tabulka č. 2 Směrnice 2006/11/ES – seznam II

1.	Metaloidy a kovy a jejich sloučeniny
2.	Biocidy a jejich deriváty
3.	Látky, které mají škodlivý vliv na chuť nebo na vůni produktů pro lidskou spotřebu pocházejících z vodního prostředí
4.	Toxické a perzistentní organické sloučeniny křemíku
5.	Anorganické sloučeniny fosforu
6.	Neperzistentní minerální oleje a uhlovodíky ropného původu
7.	Kyanidy, fluoridy
8.	Látky, které mají nepříznivý účinek na kyslíkovou rovnováhu - amoniakální dusík, dusitany

2.2.3 Směrnice 91/676/EHS

Směrnice Rady o ochraně vod před znečišťováním způsobeném dusičnany ze zemědělských zdrojů. Hlavním cílem této směrnice je snížení a stanovení opatření před znečišťováním vod, způsobené dusičnany převážně ze zemědělských zdrojů.

Používání statkových hnojiv a hnojiv obsahující dusík je v dnešní době pro zemědělství nezbytné, pro životní prostředí ale nadměrné hnojení představuje nebezpečí a je nutné přijmout určitá ochranná opatření.

Hlavní zdroj znečišťování vod ze zemědělství je způsoben převážně dusičnany a je proto důležité snížit přímé či nepřímé znečišťování vod ze zemědělských zdrojů a zamezit dalšímu znečišťování pro ochranu lidského zdraví, vodních ekosystémů a zdrojů obživy.

Pro aplikaci dusíkatých látek na půdu a jejich skladování je důležité učinit vhodná opatření a zvolit konkrétní způsoby obhospodařování půdy. K účinnosti těchto opatření je nutný monitoring vod. [3]

2.2.4 Směrnice 75/440/EHS

Směrnice Rady o požadované jakosti povrchových vod určených k odběru pitné vody v členských státech. Tato směrnice se týká požadavků na jakost, kterým musí po odpovídající úpravě vyhovovat sladké povrchové vody určené k odběru pitné vody dále nazývané „surová voda“. Podzemní voda, brakická voda a voda určená pro opětovné plnění vodních loží není předmětem této směrnice.

Ochrana lidského zdraví před nepříznivými účinky znečištěné vody určené k lidské spotřebě a zajištění čistoty a zdravotní nezávadnosti je hlavním cílem této směrnice.

Neustále rostoucí užívání vodních zdrojů k odběru vody pro lidskou spotřebu vyžaduje snížení znečišťování vody a její ochranu před následným zhoršováním. Za tímto účelem je nutné chránit veřejné zdraví a provádět dohled nad povrchovými vodami určenými pro odběr pitné vody a nad úpravou těchto vod.

Pokud povrchové vody neodpovídají chemickým, mikrobiologickým a fyzikálním vlastnostem, nesmí být využívány k odběru pitné vody. [4]

2.2.5 Směrnice 91/271/EHS

Směrnice Rady o čištění městských odpadních vod. Tato směrnice upravuje nakládání s odpadními vodami. Týká se odvádění, čištění a vypouštění městských odpadních vod a čištění a vypouštění odpadních vod z určitých průmyslových odvětví. Cílem směrnice je ochrana životního prostředí před nepříznivými účinky vypouštění odpadních vod. Mezi další cíle směrnice také patří výstavba čistíren odpadních vod, kanalizačních systémů a zlepšení technologií čištění odpadních vod.

Směrnice nařizuje opětovné používání vyčištěných odpadních vod a upřednostňuje je před vypouštěním odpadních vod z čistírny do vodních toků. Pokud již není možné odpadní vody znovu využít, musí být voda upravena nejmodernějším způsobem, které jsou v dané době a oblasti přístupné.

Mezi povinnosti členských států patří kontrolovat dodržování limitů při vypouštění odpadních vod a správného nakládání s čistírenskými kaly,

vznikajícími při čištění odpadních vod. Kontrola dodržování limitů se provádí rozbořem těchto vod. [5]

2.3 Česká legislativa

V České republice patří mezi nejvýznamnější legislativu v oblasti čištění odpadních vod zákon č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů, tzv. Vodní zákon. Dalším důležitým legislativním dokumentem je nařízení vlády č.61/2003 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových a odpadních vod.

2.3.1 Zákon o vodách

Hlavním cílem tohoto zákona je chránit povrchové a podzemní vody, stanovit podmínky pro hospodárné využívání vodních zdrojů a pro zachování i zlepšení jakosti povrchových a podzemních vod, vytvořit podmínky pro snižování nepříznivých účinků povodní a sucha, a zajistit bezpečnost vodních děl v souladu s právem Evropských společenství. Účelem zákona je též přispívat k zajištění zásobování obyvatelstva pitnou vodou a k ochraně vodních ekosystémů a na nich přímo záviselých suchozemských ekosystémů.

Zákon upravuje právní vztahy k povrchovým a podzemním vodám, vztahy fyzických a právnických osob k využívání povrchových a podzemních vod, jakož i vztahy k pozemkům a stavbám, s nimiž výskyt těchto vod přímo souvisí, a to v zájmu zajištění trvale udržitelného užívání těchto vod, bezpečnosti vodních děl a ochrany před účinky povodní a sucha.

Každý, kdo chce vypouštět odpadní vody do vod povrchových nebo podzemních, potřebuje příslušné povolení k nakládání s vodami. Povolení k vypouštění odpadních vod se vydává na dobu kratší než 10 let. Pokud se jedná o vypouštění odpadních vod s obsahem zvláště nebezpečných látek, na dobu kratší než 4 roky.

Ten kdo vypouští odpadní vody do vod povrchových nebo podzemních, má za úkol zajistit jejich zneškodňování danými předpisy a je povinen zaznamenávat objem vypouštěných odpadních vod a výsledky těchto měření předávat vodoprávnímu úřadu, který povolení k vypouštění odpadních vod

vystavil.

Před vydáním povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových nebo podzemních je nutné stanovit nejvyšší přípustné hodnoty znečištění. Tyto hodnoty stanoví vodoprávní úřad. Vodoprávní úřad je vázán ukazateli vyjadřující stav vody ve vodním toku, normami environmentální kvality, ukazateli a hodnotami přípustného znečištění povrchových a odpadních vod.

Ve výjimečných případech, může být povoleno na nezbytně nutnou dobu vypouštění odpadních vod s vyššími přípustnými hodnotami znečištění, než jsou stanoveny nařízením. Mezi tyto případy patří zejména uvádění čistírny odpadních vod do provozu, kdy je ve zkušebním provozu, při nezbytných opravách či změnách zařízení ke zneškodňování odpadních vod a při haváriích těchto zařízení.

Za vypouštění odpadních vod do vod povrchových je zodpovědná osoba podle zákona povinna platit poplatek ze znečištění a objem vypouštěných odpadních vod. Jestliže jsou překročeny stanovené limity znečištění v příslušném ukazateli, je znečišťovatel povinen platit poplatek za znečištění. Pokud objem vypouštěných odpadních vod překročí za kalendářní rok 100 000 m³, je nutné platit poplatek z objemu vypouštěných odpadních vod do vod povrchových. Pokud dojde ke snížení objemu vypouštěných odpadních vod, může být tento poplatek snížen. [6]

2.3.2 Nařízení vlády č.61/2003 Sb.

O ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací o citlivých oblastech, ve znění nařízení vlády č.229/2007 Sb. a nařízení vlády č.23/2011 Sb..

Před vypouštěním odpadních vod do vod povrchových je potřeba zajištění povolení, které stanoví podmínky pro vypouštění odpadních vod. Povolení k vypouštění odpadních vod musí obsahovat druh odpadních vod vypouštěných do povrchových vod, charakteristiku výrobní činnosti, určení místa výpusti odpadních vod, pro kterou je povolení vydáno a název toku, do kterého jsou odpadní vody vypouštěny. Emisní limity a lhůtu k dosažení emisních limitů pro vypouštění odpadních vod stanoví vodoprávní úřad.

Pokud zdroj znečištění vypouští odpadní vody z více výpustí, jsou stanoveny emisní limity pro každou z nich. Emisní limity, určené vodoprávním úřadem, pro povolení k vypouštění městských odpadních vod do vod povrchových, jsou stanoveny kombinovaným přístupem maximálně do výše emisních standardů nebo jsou stanoveny limity účinnosti čištění podle hodnot uvedených v tabulce č. 4. Emisní limity stanovené v koncentračních jednotkách a v minimální účinnosti čištění v čistírně odpadních vod v procentech jsou rovnocenné. Každý ukazatel znečištění má stanoven pouze jeden z těchto emisních limitů.

Emisní standardy „p“ uvedené v tabulce č. 3 a emisní limity podle nich stanovené vodoprávním úřadem v povolení k vypouštění odpadních vod se považují za dodržené, jestliže míra jejich překročení nepřesáhne hodnoty uvedené v tabulce č. 5.

Emisní standardy „m“ uvedené v tabulce č. 3 a emisní limity „m“ stanovené vodoprávním úřadem v povolení k vypouštění odpadních vod jsou nepřekročitelnými hodnotami.

Stanoví-li vodoprávní úřad emisní limit jako přípustnou účinnost čištění, stanoví místo měření jakosti vypouštěných odpadních vod i na přítoku do čistírny odpadních. Jestliže jsou odpadní vody před vypouštěním do vod povrchových čištěny a vodoprávní úřad stanoví emisní limit jako minimální účinnost čištění, musí být ve stejné době odebírány vzorky odpadní vod na přítoku na čistírnu odpadních vod i na výpusti z ní do vod povrchových. [7]

Tabulka č. 3 – emisní standardy ukazatelů přípustného znečištění odpadních vod

Kategorie ČOV (EO) ¹	CHSK _{Cr} (mg/l)		BSK ₅ (mg/l)		NL (mg/l)		N-NH ₄ ⁺ (mg/l)		N _{celk.} (mg/l) ²		P _{celk.} (mg/l) ⁶	
	p ³	m ⁴	p ³	m ⁴	p ³	m ⁴	průměr ⁵	m ⁴	průměr ⁵	m ⁴	průměr ⁵	m ⁴
< 500	150	220	40	80	50	80	-	-	-	-	-	-
500 - 2000	125	180	30	60	40	70	20	40	-	-	-	-
2001 - 10 000	120	170	25	50	30	60	15	30	-	-	3	8
10 001 - 100 000	90	130	20	40	25	50	-	-	15	30	2	6
> 100 000	75	125	15	30	20	40	-	-	10	20	1	3

1- rozumí se kategorie ČOV vyjádřená v počtu ekvivalentních obyvatel.

Ekvivalentní obyvatel je definován produkcí znečištění 60g BSK₅ za den.

- 2- celkový dusík je ukazatel, který zahrnuje všechny formy dusíku
- 3- uváděné přípustné koncentrace „p“ nejsou aritmetické průměry za kalendářní rok a mohou být překročeny v povolené míře podle hodnot uvedených v tabulce č. 5
- 4- uváděné maximální koncentrace „m“ jsou nepřekročitelné
- 5- uváděné hodnoty jsou aritmetické průměry koncentrací za kalendářní rok a nesmí být překročeny
- 6- tento emisní limit stanoví vodoprávní úřad pro ČOV vybavenou technologickým stupněm pro odstraňování fosforu

Tabulka č. 4 – přípustná minimální účinnost čištění vypouštěných odpadních vod (minimální procento úbytku) ¹

Kategorie ČOV (EO)	CHSK _{Cr} (%)	BSK ₅ (%)	N-NH ₄ ⁺ (%)	N _{celk.} (%) ²	P _{celk.} (%)
< 500	70	80	-	-	-
500 - 2000	70	80	50	-	-
2001 - 10 000	75	85	60	-	70
10 001 - 100 000	75	85	-	70	80
> 100 000	75	85	-	70	80

1- účinnost čištění vztahená k zátěži na přítoku do ČOV

2- celkový dusík je ukazatel, který zahrnuje všechny formy dusíku

Tabulka č. 5 – přípustný počet vzorků, nesplňujících v jednotlivých ukazatelích znečištění statisticky formulované limity „p“ ve vypouštěných odpadních vodách

počet vzorků	přípustný počet nevyhovujících vzorků	počet vzorků	přípustný počet nevyhovujících vzorků
4 - 7	1	141 - 155	12
8 - 16	2	156 - 171	13
17 - 28	3	172 - 187	14
29 - 40	4	188 - 203	15
41 - 53	5	204 - 219	16
54 - 67	6	220 - 235	17
68 - 81	7	236 - 251	18
82 - 95	8	252 - 268	19
96 - 110	9	269 - 284	20
111 - 125	10	285 - 300	21
126 - 140	11	301 - 317	22

2.3.3 Vyhláška č.293/2002 Sb.

Vyhláška o poplatcích za vypouštění odpadních vod do vod povrchových.

Mezi hlavní cíle této vyhlášky patří bližší vymezení zdroje znečišťování, k postupu pro určování znečištění obsaženého v odpadních vodách, ke zjišťování průměrné koncentrace znečištění, ročního objemu vypouštěných odpadních vod a provádění měření objemu vypouštěných odpadních vod.

Jako zdroje znečišťování se pro účely této vyhlášky rozumí území obce, popřípadě její územně oddělená a samostatně odkanalizovaná část, z které se vypouštějí samostatně odpadní vody do vod povrchových. Pravidelnými odběry, rozborů, úpravami a vyhodnocováním výsledků rozborů se určí obsah znečištění v odpadních vodách.

Průměrná roční koncentrace znečištění v odpadních vodách se zjišťuje u znečištění vypouštěného kontinuálně jako aritmetický průměr z výsledků všech rozborů těchto vzorků, jestliže jejich počet je menší než 24 v příslušném kalendářním roce. V případech znečištění řízeného nebo nepravidelného vypouštění se průměrná roční koncentrace stanoví výpočtem, jehož způsob projedná znečišťovatel s krajským úřadem. [8]

2.3.4 Zdroje znečištění

Jakost povrchových vod je ovlivňována především bodovými zdroji znečištění, jako jsou města, obce a průmyslové závody. Úroveň ochrany vod před znečištěním se nejčastěji hodnotí podle vývoje produkovaného a vypouštěného množství znečištění. Produkované znečištění je charakterizováno množstvím znečištění obsaženého v nečištěných odpadních vodách. Na základě požadavků Evropské unie se v České republice věnuje zvýšená pozornost kontrole údajů a výsledkům tohoto znečištění.

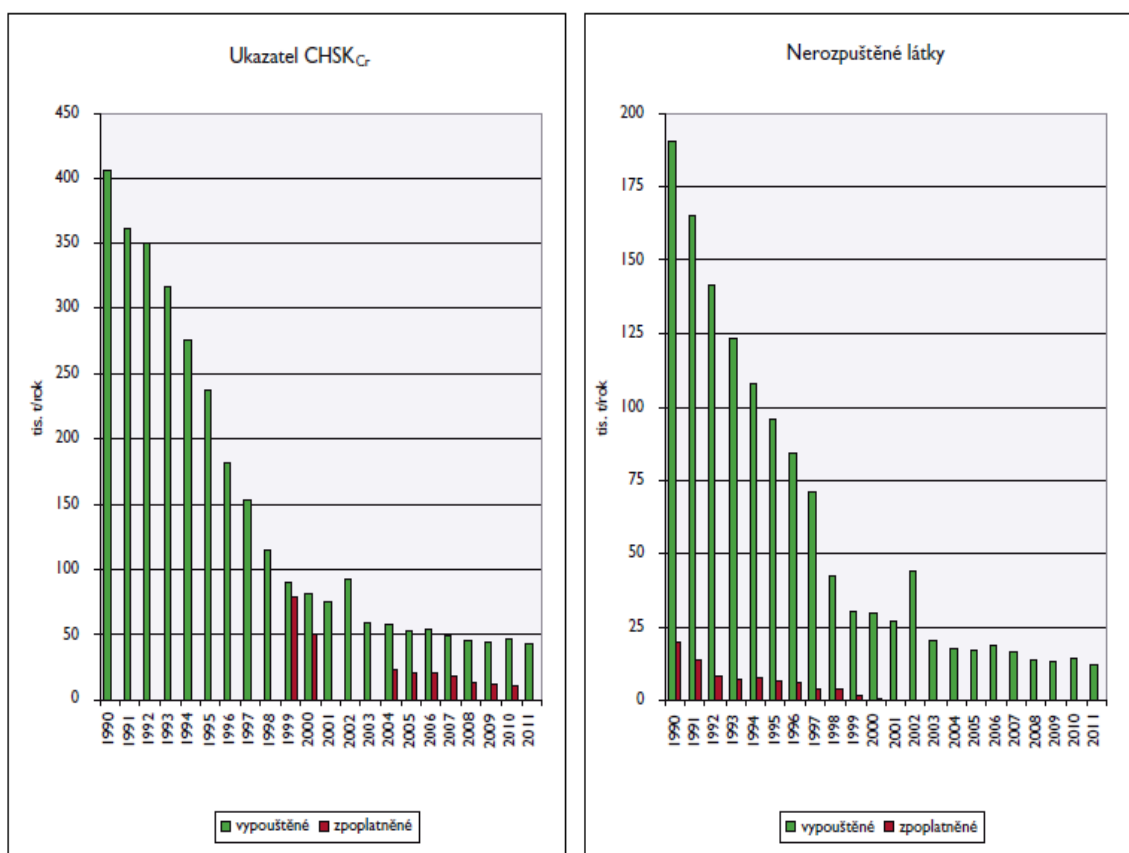
Míra znečištění se v roce 2011 oproti roku 2010 výrazně nezměnila. U organického znečištění podle BSK₅ se snížila o 6 382 t (2,6%), podle CHSK_{Cr} o 9 935 t (1,7%) a v množství NL o 2 475 t (0,9%) .

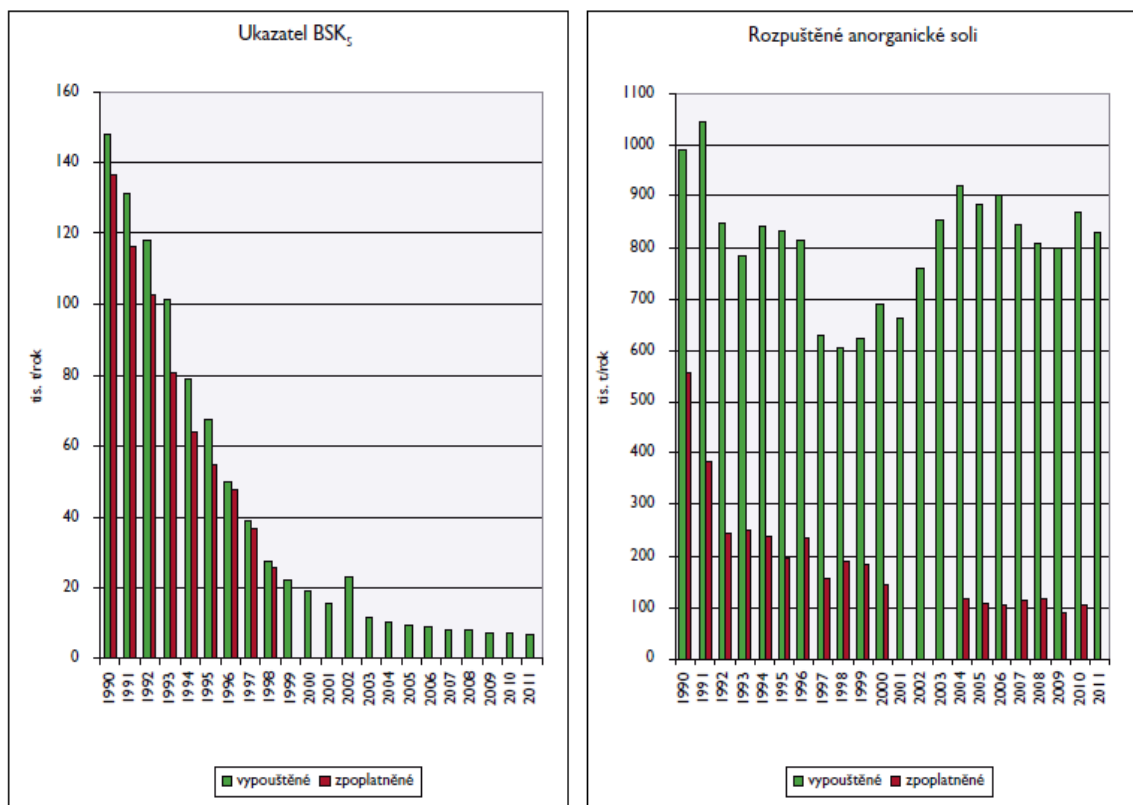
Vypouštěním znečištěním se rozumí znečištění obsažené v odpadních vodách vypouštěných do vod povrchových. V ukazateli BSK₅ se oproti roku 2010

snížilo o 444 t (6,1%), $CHSK_{Cr}$ o 3 349 t (7,3%) a v NL o 2 155 t (15,3%). K tomuto poklesu došlo u všech údajů vykazovaných jednotlivými povodí.

Mezi roky 1990 až 2011 došlo k poklesu vypouštěného znečištění v ukazatelích BSK_5 o 95,4%, $CHSK_{Cr}$ o 89,5% a NL o 93,8%. Došlo také k výraznému snížení vypouštění látek obsahující dusík nebo fosfor a to díky vzniku nových intenzifikovaných čistíren odpadních vod, které uplatňují biologické odstraňování dusíku a biologické nebo chemické odstraňování fosforu. [9]

Graf č. 1 – Vypouštěné a zpoplatněné znečištění v letech 1990-2011





2.4 Stav čistíren odpadních vod

Požadavky na kvalitu vypouštěných vod do recipientu se s vývojem měst, států a rostoucím znečištěním odpadních vod neustále zvyšují. Hlavním důvodem je snížení zatížení recipientu a s tím související eutrofizace, která se v Evropě vyskytuje ve velké míře. Nároky legislativy musí být dodrženy bez ohledu na stav a stáří čistírny odpadních vod. Na základě těchto nároků je velmi důležité zabývat se otázkou modernizace a intenzifikace čistíren odpadních vod, bez kterých by starší čistírny odpadních vod nemohly účinně sloužit v současnosti. Neustále se zvyšující provozní a investiční náklady patří mezi další problémy čistíren odpadních vod. Ekonomické náklady se mnohdy stávají pro obyvatelstvo i průmysl neúnosné, a proto je nutné zvolit vhodné úspory pro odvádění a čištění odpadních vod. Až 40 % z celkových nákladů na provoz čistírny tvoří technologie na zpracování kalu. [10]

2.4.1 Současný stav v České republice

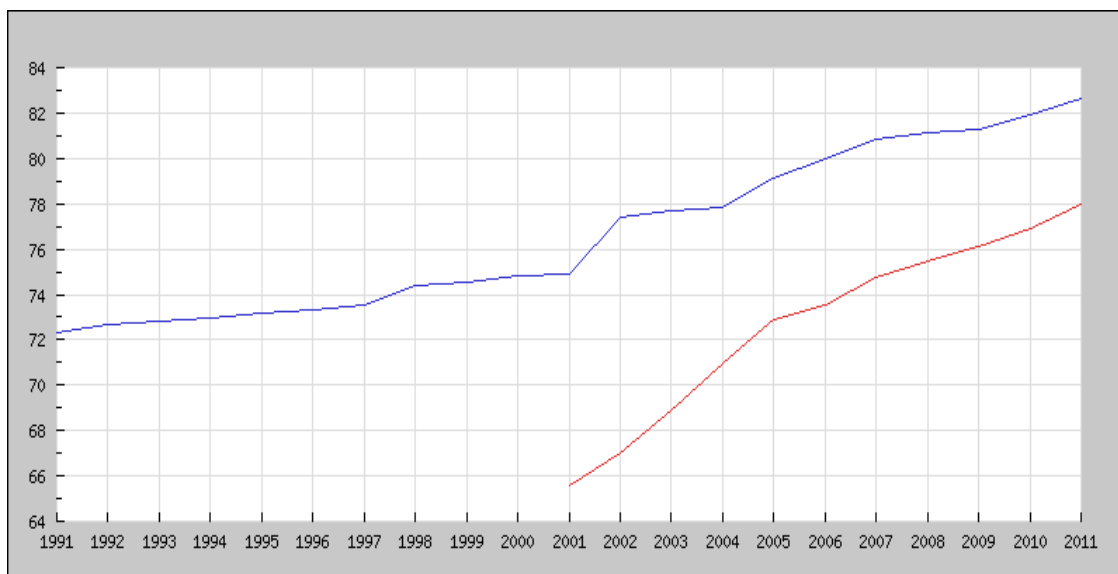
Ochrana vod je jedním z nejdůležitějších úkolů v oblasti životního prostředí a zároveň i nejnáročnějších oblastí z hlediska vstupu České republiky do Evropské unie. Cílem je v souladu s požadavky legislativy Evropské unie zlepšování stavu vodních toků, vodních ekosystémů a podpora trvale udržitelného užívání vod. [11]

Na našem území se čistírny odpadních vod začaly budovat od počátku 20. století. První ČOV byla postavena v Praze a zahájila provoz 2. 2. 1905. Většina odpadních vod ale stále končila v řekách bez předchozího čištění. Neustálým rozvojem průmyslu a nárůstem obyvatel se zvyšovala spotřeba vody na člověka, a tím i objem odpadní vody vypouštěné do řek. Ochrana životního prostředí nebyla před rokem 1989 věnována dostatečná pozornost a kvalita vody v našich řekách byla velmi špatná. [12]

Od 90. let minulého století došlo v České republice k více než dvojnásobnému prodloužení kanalizační sítě, a tím i zvýšení podílu obyvatel připojených na kanalizační síť ze 72 % na 82,6 % obyvatel České republiky v roce 2011. Z toho 78 % obyvatel je napojeno na kanalizační síť zakončenou čistírnou odpadních vod. Pozitivní vývoj tohoto ukazatele je částečně dán stagnujícím středním stavem obyvatelstva za současného zvyšování počtu obyvatel připojovaných na kanalizační síť s čistírnou odpadních vod.

Oproti nárůstu podílu připojených obyvatel vykazuje prodlužování kanalizační sítě intenzivnější trend, jelikož kanalizační síť a čistírny odpadních vod byly ve větších městech většinou vybudovány a postupně je potřeba pokrýt menší obce. Všichni obyvatelé hlavního města Praha jsou napojeni na kanalizaci. Velké procento připojených obyvatel vykazuje kraj Karlovarský, kde bylo v roce připojeno 93,3 % obyvatelstva a kraj Zlínský s 90 %. Nejmenší počet připojených obyvatel na kanalizační síť vykazuje kraj Liberecký, 68,9 %, Středočeský 68,9 % a kraj Pardubický 72,1 %. [13]

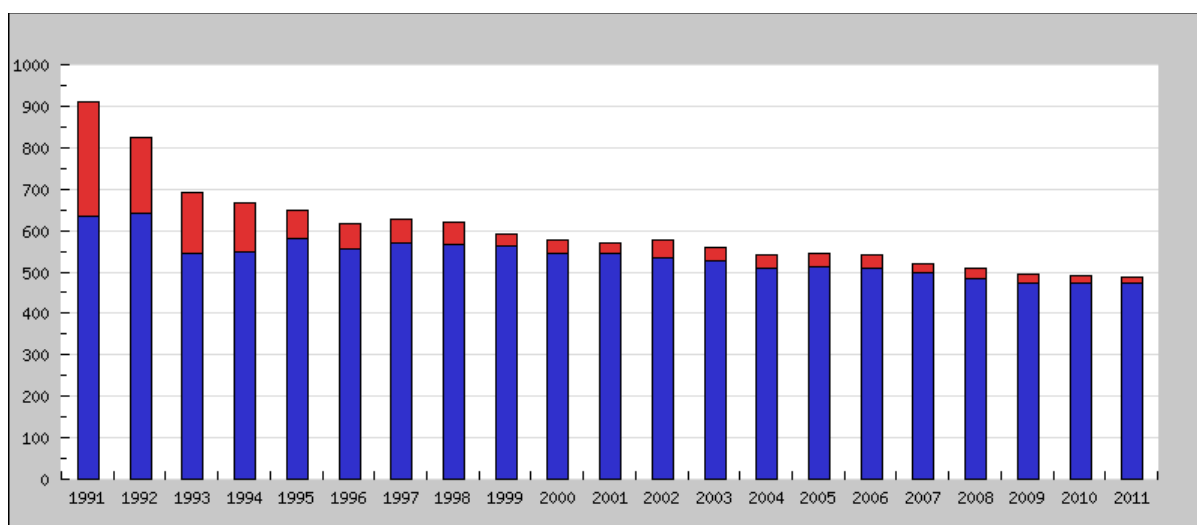
Graf č. 2 – počet připojených obyvatel na kanalizaci v České republice (%)



— podíl obyvatel připojených na kanalizaci
 — podíl obyvatel připojených na kanalizaci s ČOV

V současné době nejsou všechny odpadní vody vypouštěné do kanalizací čištěny. Podíl čištěných odpadních vod vypouštěných do kanalizace ve sledovaném období od roku 2000 stagnuje mezi 94 – 97 %. V roce 2011 bylo dosaženo maxima, kdy bylo vyčištěno 96,7 % odpadních vod vypouštěných do kanalizací. V roce 1990 byl podíl vyčištěných odpadních vod pouze 75 %.

Graf č. 3 – objem čištěných a nečištěných odpadních vod (mil.m³)

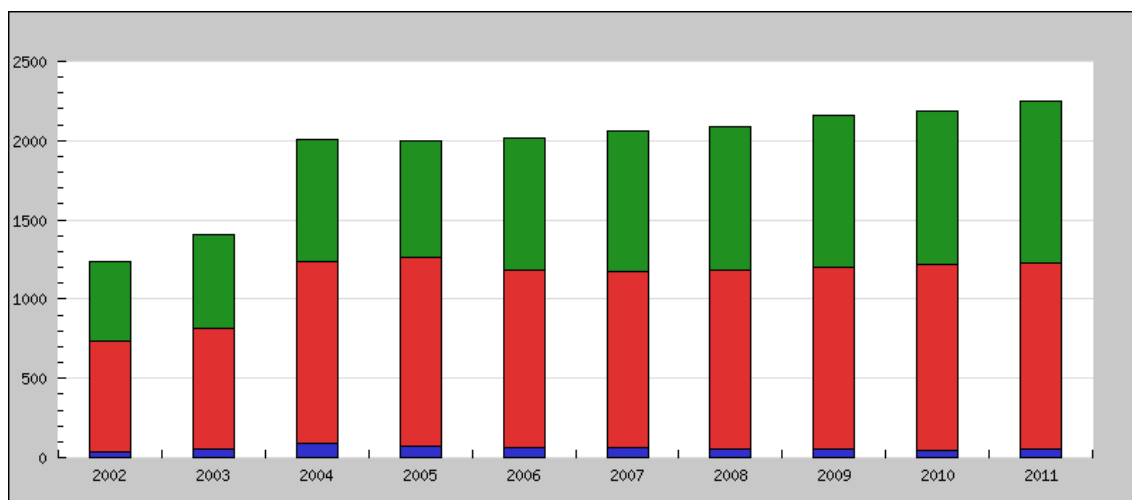


■ odpadní vody čištěné ■ odpadní vody nečištěné

Nejvyšší podíl čištěných odpadních vod vykazuje hlavní město Praha, kde jsou čištěny všechny odpadní vody, dále pak kraj Středočeský, Liberecký, Ústecký a Karlovarský, kde je čištěno více jak 99 % odpadních vod. Naopak v kraji Královéhradeckém je čištěno pouze 7,2 % a v kraji Moravskoslezském 9,4 % odpadních vod.

Mezi důležitá opatření na ochranu jakosti vod patří stavby nových a rekonstrukce stávajících čistíren odpadních vod. Všechny tyto čistírny jsou mechanicko-biologické a zahrnují ve svém procesu nitrifikaci a denitrifikaci a odstraňování fosforu. Celkový počet ČOV se v České republice oproti roku 2009 zvýšil o 30 čistíren na 2 188 ČOV. Od roku 1990 zaznamenáváme více než trojnásobný nárůst. [13]

Graf č. 4 – počet čistíren podle stupně čištění odpadních vod, Česká republika

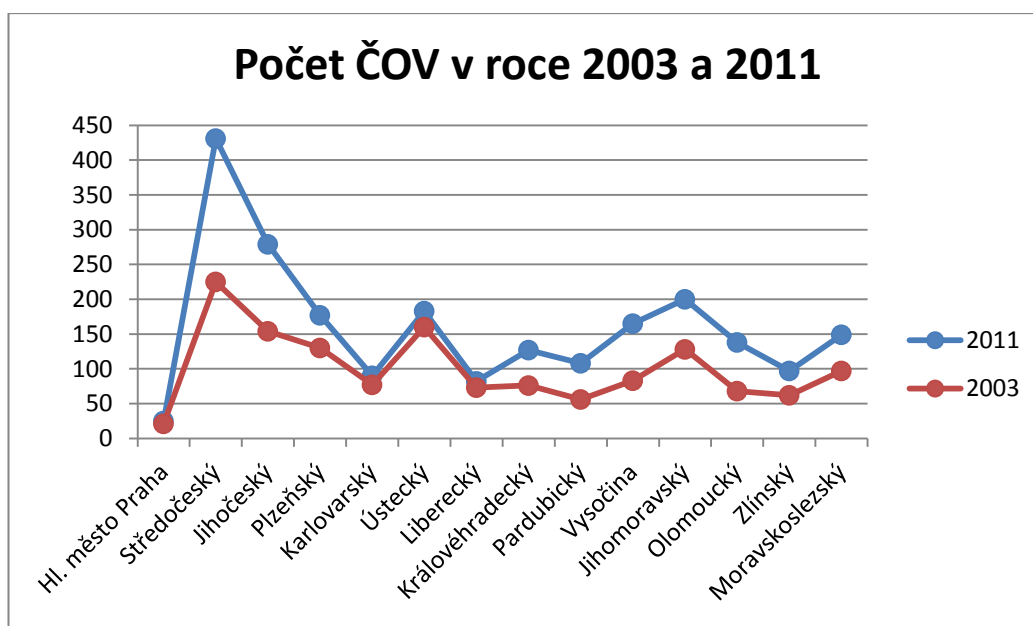


- *primární čištění (mechanické)*
- *sekundární čištění (mechanicko-biologické bez odstraňování N nebo P)*
- *terciární čištění (mechanicko-biologické s dalším odstraňováním N nebo P)*

Tabulka č. 6 – přehled ČOV, Česká republika 2011 [14]

Území,kraj	Počet ČOV celkem	Celková kapacita ČOV	Počet ČOV				
			mechanických	celkem	mechanicko-biologických		
					z toho: s dalším odstraňováním		
					N	P	N+P
Česká republika	2 251	3 799 039	50	2 201	474	39	513
Hl. město Praha	25	553 127	0	25	3	2	17
Středočeský	431	362 961	4	427	105	7	122
Jihočeský	279	275 897	9	270	55	6	29
Plzeňský	177	183 919	2	175	31	3	28
Karlovarský	90	118 740	6	84	17	3	12
Ústecký	183	247 567	10	173	28	1	23
Liberecký	82	141 726	3	79	7	2	20
Královéhradecký	127	233 688	1	126	29	1	24
Pardubický	108	183 832	2	106	23	4	21
Vysočina	165	219 257	1	164	26	2	53
Jihomoravský	200	326 345	0	200	49	3	80
Olomoucký	138	238 721	2	136	34	3	25
Zlínský	97	193 574	1	96	21	1	30
Moravskoslezský	149	519 685	9	140	46	1	29

Graf č. 5 – počet ČOV roce 2003 a 2011 [14]



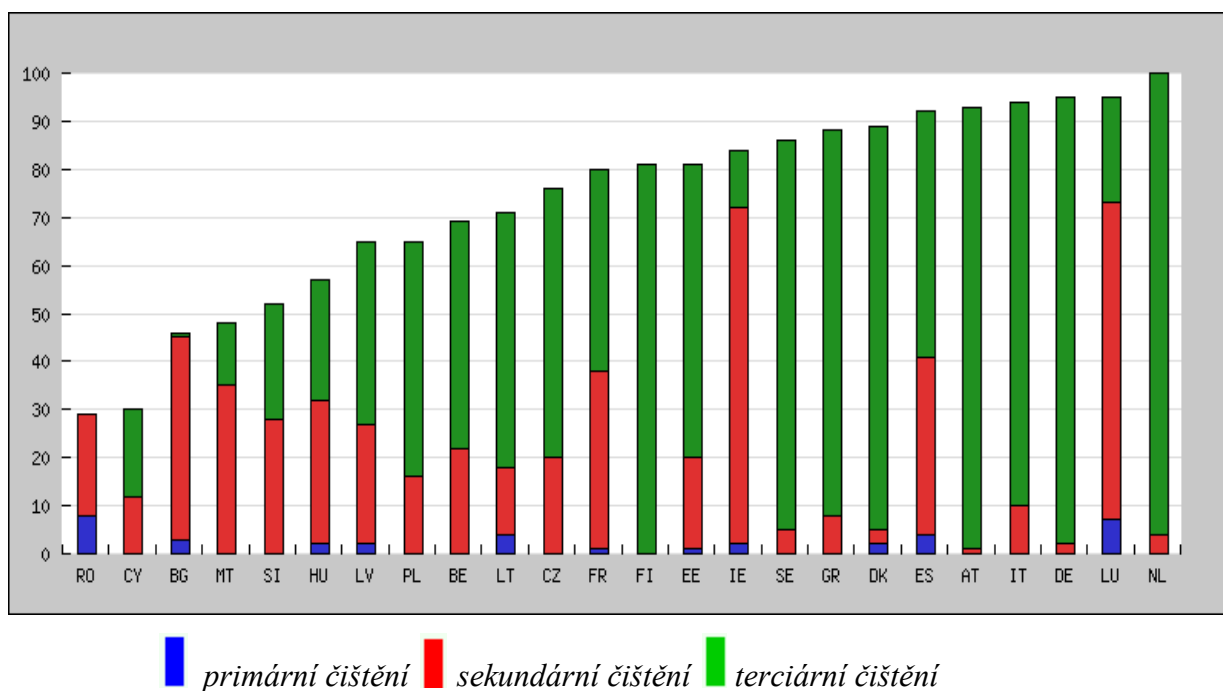
Celkový počet městských ČOV se v České republice oproti roku 2000 zdvojnásobil na 2 251. Z důvodu rekonstrukce starších ČOV se jejich celková kapacita snížila o 3,3 %, snížil se také objem vypouštěných odpadních vod do kanalizace. Narůst počtu ČOV po roce 2004 souvisí s implementací směrnice Rady 91/271/EHS, která požaduje zajištění čištění městských odpadních vod a odpadních vod v konkrétních průmyslových odvětvích.

Všechny aglomerace nad 10 000 EO mají zajištěno terciární čištění, ale ne všechny plní požadavky směrnice na limity jakosti vypouštěných odpadních vod. V roce 2011 bylo celkem zrekonstruováno nebo rozšířeno 52 ČOV s kapacitou nad 2 000 EO. Koncem roku 2010 uplynula lhůta pro splnění požadavků směrnice Rady 91/271/EHS o čištění městských odpadních vod, avšak ani k 31.12. 2011 nemělo 43 z celkového počtu 633 aglomerací nad 2000 EO výhodným způsobem zajištěno odvádění a čištění odpadních vod. Celkem 35 aglomerací nesplnilo limity čištění, 6 aglomerací bylo napojeno na ČOV v jiné aglomeraci s nevyhovující ČOV a dvě aglomerace budují napojení na vyhovující ČOV v jiné aglomeraci.

Průměrná účinnost ČOV je v České republice velmi vysoká. V případě BSK₅ a nerozpuštěných látek je odstraňováno až 98 % znečištění. V případě CHSK_{Cr} je účinnost asi 94 %, u celkového fosforu 82 % a u dusíkatých látek 72%. Hodnoty účinnosti jsou podobné jako v předchozích letech což souvisí s dokončenou rekonstrukcí velkých ČOV.

V mezinárodním srovnání čištění odpadních vod jsou na tom lépe státy severní, západní a jižní Evropy, ale v některých parametrech Česká republika zaujímá lepší postavení – zejména podílu terciárního stupně čištění. S výjimkou Estonska, zaznamenaly východoevropské země oproti České republice, jak menší podíl obyvatel připojených na kanalizaci zakončenou ČOV, tak i podíl obyvatel připojených na terciární stupeň čištění. [13]

Graf č. 6 – obyvatelé připojení na ČOV dle stupně čištění, mezinárodní srovnání (%)



V následujících letech lze předpokládat zlepšování stavu a postupné plnění závazků daných legislativou EU. Na ČOV jsou napojeny již všechny velké zdroje znečištění a 78 % obyvatel. Hlavním problémem, který zbývá vyřešit, je čištění komunálních vod v menších obcích, což je ale převážně ovlivněno finanční a časovou stránkou. Požadovaným terciárním stupněm čištění při výstavbě nových ČOV lze předpokládat snižování vypouštěných odpadních vod a zlepšování jakosti vodních toků. [13]

2.5 Čištění odpadních vod

Čištění odpadních vod je zásadním nástrojem pro zlepšování jakosti povrchových vod, protože vede ke snižování množství vypouštěného znečištění. [13]

Podle nařízení Evropské unie je pro obce nad 2000 ekvivalentních obyvatel (EO) povinnost zavedení kanalizace a čistírny odpadních vod s biologickým stupněm do konce roku 2005. Pro obce nad 15 000 EO a průmyslové zdroje znečištění nad 4 000 EO do roku 2000. Pokud je v obci pod 2000 EO vybudována kanalizace, je po obci požadováno zavedení vhodného

čištění odpadních vod. Pro citlivé oblasti, jako jsou vodní útvary zasažené, nebo ohrožené eutrofizací a vodní útvary určené pro odběry pitné vody jsou stanoveny přísnější a kratší termíny. Vypouštění vyčištěných vod z ČOV musí podléhat povolení a kvalita vody se v recipientu musí monitorovat.

Základním měřítkem pro vyjadřování znečištění je ekvivalentní obyvatel. Jedná se o průměrné znečištění vyprodukované 1 obyvatelem za 1 den přepočtené na hodnotu BSK₅. Platí, že 1 EO = 60 g BSK₅ za den. Tato hodnota byla stanovena jako dlouhodobý průměr z mnoha lokalit, a takto je třeba k ní přistupovat. Mezi nejvýznamnější složky, kterými je posuzována kvalita odpadní vody patří BSK₅, CHSK, N_{celk.}, P_{celk.} a pH. Teplota, která ovlivňuje rychlost biochemických reakcí je také významnou vlastností odpadní vody. Průměrná roční teplota odpadní vody, přitékající na ČOV se v našich podmínkách pohybuje od 10 do 25 °C.

V kanalizačním řádu obecní kanalizace je definována možnost napojení na kanalizační síť. Odpadní vody z příslušné výroby, ať se již jedná o jakýkoliv provoz, musí splnit kritéria, která jsou v kanalizačním řádu definována. Hodnoty znečištění vypouštěné do městské kanalizace by neměly překročit tyto hodnoty:

- BSK₅ 800 mg/l
- CHSK_{Cr} 1600 mg/l
- NL 750 mg/l
- N_{celk.} 80 mg/l
- P_{celk.} 20 mg/l

Skutečné hodnoty jsou předmětem dohody s provozovatelem dané kanalizační sítě, bezpečnost provozu kanalizace a kapacita napojené biologické ČOV, patří mezi rozhodující podmínky pro jejich konečnou velikost.

Mezi problematické a velmi nákladné z provozního hlediska patří odstraňování tuků a ropných látek. Tyto látky je nutné odstranit přímo u zdroje. K tomuto odstraňování se používají lapáky tuků. K odstraňování oddělených tuků, lehkých případně těžkých látek se používá spalování. Odpadní vody, obsahující ropné látky by se nikdy neměly mísit bez předčištění s ostatními vodami. Postup

při odvádění a čištění odpadních vod s obsahem ropných látek řeší ČSN 75 6551. Pokud nelze objekt napojit na kanalizační síť, existuje několik dalších možností řešení např. samostatná nádrž. [11] [15] [16]

2.6 Mechanické čištění

Mezi mechanické procesy, které se nejčastěji používají při čištění odpadních vod, patří usazování a zahušťování suspenzí. K usazování dochází při hrubém předčištění, v lapácích písku a v usazovacích nádržích, kde také probíhá i zahušťování suspenzí. [17]

Hrubé předčištění

Prvním stupněm primárního čištění je mechanické předčištění. Je též nazýváno ochrannou částí čistírny. Cílem hrubého předčištění je odstranění nerozpuštěných látek, velkých plovoucích nebo vodou sunutých předmětů a ochrana dalších stupňů čistírny. Tyto předměty by mohly narušit čistící proces a mohly by způsobit nežádoucí poruchy strojního zařízení čistírny. Na odstranění těchto předmětů se používají lapáky šterku a česle. [18]

Lapáky šterku

Lapáky šterku mají význam především v období přívalových dešťů. V lapácích šterku se odstraňují velké a těžké předměty. Lapák šterku je jímka umístěná těsně před čistírnou. Rozšířením a prohloubením přítokového žlabu, se sníží rychlosti proudění a díky tomu dojde k sedimentaci hrubých nerozpuštěných látek na dno jímky. Tento sediment je potom ze dna vytěžen. [18]

Česle

Zařízení, které je hned za lapáky šterku, jsou česle. Česle slouží jak k zachycení větších předmětů, jako jsou větve a shluky trávy, tak hrubých nerozpuštěných částic a chrání technologické zařízení čistírny. Česle jsou tvořeny řadou ocelových prutů (česlic) obdélníkového nebo kruhového tvaru. V dnešní době se používají strojově stírané česle. Podle vzdálenosti mezi česlicemi dělíme

česle na hrubé, se vzdáleností větší než 60 mm mezi česlicemi a jemné, se vzdáleností menší než 40 mm. Na velkých čistírnách se používají hrubé a jemné česle, řazené za sebou, na menších čistírnách se používají pouze česle hrubé. Odpadní produkt z česlí se nazývá shrabky. Mezi nejbezpečnější způsoby zpracování shrabků patří spalování. Kromě spalování se uplatňuje také kompostování, skládkování po zabezpečení vápnem a ukládání v kontejnerech, v kterých jsou převáženy ke konečnému zpracování. Průměrná produkce shrabků u hrubých česlí je 2 – 3 litry na 1 EO a 5 – 10 litrů na 1 EO u jemných česlí. [19]

Lapáky písku

Zařízení za česlemi jsou lapáky písku, které slouží k zachycování písku, minerálních částic a odstranění těžkých anorganických látek jako je štěrk, úlomky skla, jemná škvára a k separaci nerozpuštěných usaditelných částic o velikosti 0,2 mm až 0,25 mm. Tyto látky je třeba odstranit odděleně od ostatních nerozpuštěných látek organického původu, které se jinak odstraňují v sedimentačních nádržích. Hlavním důvodem je zabránění vnosu písku do kalového stupně čistírny, kde by kvůli své měrné hmotnosti sedimentoval, snižoval účinný objem nádrží a zhoršoval i další parametry kalové směsi. Vytěžený písek je odseparován pomocí separátoru a proprán tlakovou vodou v pračce písku. Takto upravený písek, jestliže obsahuje malé množství organického znečištění, lze opět použít například ve stavebnictví. Pokud přitékají odpadní vody z potravinářského průmyslu, za lapáky písku se instalují lapáky tuku. Odstraňování tuku je z ekonomického hlediska výhodnější přímo u zdroje znečištění. Spolu s plovoucími nečistotami je menší množství tuku odstraněno v usazovací nádrži. [17] [19] [20]

Usazovací a zahušťovací nádrže

Usazováním rozumíme odstranění tuhých částic pomocí gravitačního zrychlení. Pokud se jednotlivé částice vzájemně neovlivňují a klesají konstantní rychlostí, jedná se o prosté usazování. Při rušeném usazování, dochází v koncentrovanějších suspenzích, vlivem sedimentace jedné částice k ovlivňování rychlosti sedimentace částic druhých. Pokud je koncentrace

suspenze tak vysoká, že se začíná tvořit fázové rozhraní mezi kapalnou a tuhou fází, jedná se o zahušťování suspenzí. K separaci tuhé fáze od kapaliny se většinou používají průtočné usazovací nádrže. Nádrže se přerušovaným provozem se nazývají dekantační. Vedle usazovacích nádrží, kde dochází většinou pouze k usazování, existují i zahušťovací nádrže, které slouží k odvodňování získaného kalu z usazovacích nádrží před jeho dalším zpracováním.

Zahušťovací nádrže s přerušovaným provozem se nazývají dekantační zahušťovací nádrže. V těchto nádržích se suspenze po napuštění nechá v klidu, poté dochází k usazování a zahušťování suspenze. Po skončení zahušťovacího procesu zůstává v nádrži zahuštěný kal a několikrát se opakuje napouštění čerstvé suspenze. Druhým typem jsou nádrže s kontinuálním provozem, průtočné zahušťovací nádrže, kde rozeznáváme tři pracovní zóny. Horní zóna je tvořena relativně čistou kapalinou, ve které probíhá prostá sedimentace. Pod horní zónou se nachází přechodná oblast, kde probíhá rušené usazování a v dolní části nádrže se nachází zóna zahušťovací. [19]

2.7 Biologické čištění

Druhou část čistícího procesu tvoří biologické čištění neboli čištění sekundární, které probíhá v biologickém reaktoru. Při biologickém čištění odpadních vod v aerobních podmínkách se uplatňují biochemické oxidačně-redukční reakce, podmíněné činností mikroorganismů, které v odpadní vodě, oxidací kyslíkem, rozkládají organické látky. Rozhodujícím faktorem pro rozdělení těchto reakcí je konečný akceptor elektronů a s tím související hladiny oxidačně-redukčních potenciálů. Cílem biologického čištění je koagulovat a odbourat neusaditelné koloidní látky a stabilizovat organické látky. U komunálních odpadních vod je to redukce organických látek a nutrientů – dusíku a fosforu. Důležitou součástí biologického čištění je aktivační nádrž společně s aktivovaným kalem. Tyto biochemické procesy se realizují tzv. aktivačním systémem. [17] [21]

Aktivovaný kal

Aktivovaný kal je směsná kultura mikroorganismů, které lze rozdělit

do dvou hlavních skupin :

- **Destruenti**

Destruenti tvoří až 95 % mikroorganismů aktivovaného kalu a jsou zodpovědní za biochemický rozklad znečišťujících látek v odpadní vodě. Mezi destruenty patří hlavně bakterie, ale i třeba mikroskopické houby a bezbarvé sinice.

- **Konzumenti**

Jako substrát využívají bakteriální a jiné mikrobiální buňky. V aktivovaném kalu jsou představovány mikrofaunou, jednobuněčnými i mnohobuněčnými organismy.

Kvalitativní a kvantitativní složení aktivovaného kalu závisí převážně na složení substrátu, na němž byl kal vypěstován, a na hodnotách technologických parametrů během kultivace. Od většiny čistých kultur se aktivovaný liší tím, že je schopen se oddělovat od kapalně fáze prostou sedimentací. Dobrá flokulace a sedimentace vloček kalu patří mezi jednu z nejdůležitějších vlastností aktivovaného kalu. [18]

Rozlišujeme tři hlavní druhy aktivovaného kalu:

- **Flokující aktivovaný kal**

Při optimálních podmínkách kultivace je aktivovaný kal ve formě dobře flokulujících a sedimentujících vloček. Tvorba vloček je nutná pro získání čirého odtoku vyčištěné odpadní vody a dostatečně zahuštěného vratného aktivovaného kalu.

- **Neflokující aktivovaný kal**

Při určitých podmínkách přestanou mikroorganismy aktivovaného kalu aglomerovat a tvořit usaditelné vločky a vyskytují se většinou ve formě jednotlivě dispergovaných buněk. Odtok z takového systému je i po sedimentaci velmi zakalen.

- **Zbytnělý aktivovaný kal**

Zbytnělý aktivovaný kal je charakterizován špatnými sedimentačními vlastnostmi a nízkou usazovací rychlostí. [19]

Z hlediska teorie reaktorů rozlišujeme tyto způsoby kultivace aktivovaného kalu:

- **Jednorázový tzv. vsádkový systém**

Roztok odpadní vody je smísen s aktivovaným kalem a vzniklá směs je provzdušňována. Během provzdušňování dochází k úbytku substrátu z počáteční hodnoty na hodnotu závislou na době provzdušňování. S úbytkem substrátu dochází k přírůstku biomasy. Mikroorganismy jsou v prostředí s měnící se koncentrací substrátu, což je pro tento systém charakteristické. Rychlost odstraňování substrátu je největší na začátku procesu, proto je také na začátku dosahováno největší rychlosti spotřeby kyslíku. Tento systém se nejvíce využívá v laboratorních podmínkách, protože po vyčerpání substrátu se systém zruší a dále neprovozuje.

- **Semikontinuální systém**

Semikontinuální kultivace je časově opakující se jednorázový proces. Po uplynutí nějaké doby je část biomasy a kultivačního média odebrána a obsah nádrže doplněn novým roztokem substrátu. Tento proces se opakuje po libovolně dlouhou dobu, při konstantní době kultivace a konstantním množství odebrání biomasy a kultivačního média. Na začátku provzdušňování se smíchá substrát o určité koncentraci se zbylou kapalinou v nádrži. Výsledná koncentrace je nižší. Během provzdušňování se koncentrace ještě sníží a její hodnota je závislá na době provzdušňování a na koncentraci a aktivitě směsné kultury. Rychlost spotřeby kyslíku je opět největší na začátku cyklu.

- **Kontinuální systém s postupným tokem**

Opadní voda se mísí s vratným aktivovaným kalem ještě před vstupem do aktivační nádrže a poté je vedena do aktivační nádrže, kde je provzdušňována. Koncentrace substrátu a rychlost spotřeby kyslíku se snižuje během průtoku nádrží. Tento systém lze realizovat ve velkých nádržích, a čím je aktivační nádrž menší, tím se poměry více přibližují poměrům ve směšovací nádrži.

- **Směšovací systém**

Odpadní voda přichází do nádrže odděleně od vratného kalu a ke smíchání dojde až v aktivační nádrži, která je provzdušňována a míchána. Celá nádrž má stejné složení a i koncentrace substrátu na odtoku je stejná jako v celé nádrži. Rychlost odstraňování substrátu a spotřeby kyslíku je konstantní a mikroorganismy aktivovaného kalu jsou vystavovány stále stejným koncentracím všech složek z odpadní vody. [18]

Kalové hospodářství

Velmi důležitým technologickým celkem každé čistírny odpadních vod je kalové hospodářství. Kalové hospodářství musí v dnešní době splňovat poměrně náročné požadavky. První zařízení je na zahuštění surového kalu. Jedná se o zahuštění gravitační nebo strojní. Po zahuštění je kal čerpán do stabilizační nádrže, u větších čistíren se používá systém bez přístupu vzduchu – anaerobní stabilizace. V tomto prostředí je kal biologicky rozkládán, konečným akceptorem elektronů v dýchacím řetězci je vlastní organická látka a konečným produktem je metan a oxid uhličitý – bioplyn. Tento proces je velmi komplikovaný a několikastupňový. Vznikající bioplyn je využíván jako palivo v kogeneračních jednotkách nebo plynových kotlích. Bioplyn může být také spalován ve speciálních hořácích bez dalšího užitku. Stabilizovaný kal je následně odvodněn na 25-30 % sušiny a prochází procesem hygienizace – snížení obsahu patogenních bakterií. Hygienizace se provádí dávkováním nehaseného vápna, termofilní anaerobní stabilizací nebo aerobní autotermní termofilní stabilizací a hygienizací, pomocí dávkování čistého kyslíku. Kal, zpracovaný tímto způsobem, lze poté využít v zemědělství při tvorbě průmyslových kompostů.

Primárním cílem každé čistírny je čištění odpadních vod, nikoliv tvorba bioplynu. Tam, kde to ekonomická situace dovoluje a nepředstavuje to nebezpečí negativního ovlivnění čištění odpadních vod, je do procesu čištění zařazen i anaerobní stupeň, kde dochází k tvorbě bioplynu, který je důležitým přínosem pro celkovou energetickou bilanci čistírny odpadních vod. Pokud je anaerobní stupeň pro čistírnu neefektivní a finančně nákladný, je lepší přejít k aerobní stabilizaci kalu. [11]

Aktivační proces

Aktivační proces je nejstarší kontinuální kultivace mikroorganismů v nesterilních podmínkách. V aktivační nádrži je udržována určitá koncentrace kalu, která v odpadních vodách rozkládá organické látky na vodu a oxid uhličitý. Aktivační směs vzniká smísením odpadních vod a vratného aktivovaného kalu. Směs se intenzivně provzdušňuje tlakovým vzduchem nebo mechanickými aerátory. Mikroorganismy takto získávají živiny a rostou. Jejich růst způsobuje odstraňování znečišťujících látek z roztoku, ale také zvyšování koncentrace kalu v systému. Aby byla koncentrace kalu v systému udržována na přibližně konstantní hodnotě, je nutné kal ze systému pravidelně odebírat. Takto odstraněnému kalu se říká kal přebytečný, a je dále zpracováván v kalovém hospodářství. [22] [23]

Vývojem čistících metod, které odstraňují vedle organických látek i fosfor a dusík, se přechází na novější dělení nádrží biologického stupně podle podmínek v prostředí a reálného oxidačně-redukčního potenciálu, na tři typy aktivací.

- **Oxická**

V oxické aktivaci je přítomen rozpuštěný kyslík, který se stává konečným akceptorem elektronů. Vedle oxidace organických látek zde probíhá tak nitrifikace

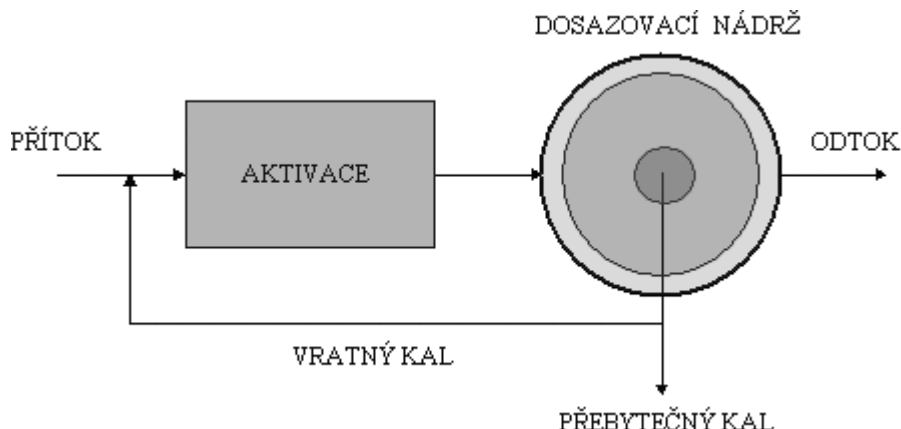
- **Anoxická**

V anoxické aktivaci není přítomen volně rozpuštěný kyslík, ale jsou přítomny oxické sloučeniny dusíku – dusitany a dusičnany. Konečným akceptorem elektronů je dusitanový a dusičnanový dusík. V anoxických podmínkách dochází k denitrifikaci

- **Anaerobní**

V anaerobní aktivaci není přítomen kyslík ani oxidované dusíkaté sloučeniny. Konečným akceptorem elektronů je vlastní organická látka, kdy část je na základě podmínek v prostředí oxidována a část redukována. V těchto podmínkách probíhá acetogeneze, methanogeneze a desulfatace. [24]

Obrázek č. 1 – schéma aktivačního procesu



Odstraňování organických látek

Biologický rozklad organických látek vychází ze samočisticích pochodů, které probíhají v přírodních vodách neustále. Biologické čištění odpadních vod je napodobení a zintenzivnění těchto přírodních pochodů. Jedná se o oxidaci organických látek metabolickým procesem bakterií. Výsledný produkt je voda, oxid uhličitý a přírůstek biomasy, který se nazývá přebytečný kal, který je poté nutné ze systému odstraňovat a dále zpracovávat. [25]

Na základě biochemické rozložitelnosti se organické látky dělí na tři základní skupiny:

- **Snadno rozložitelné organické látky**

Jedná se o nízkomolekulární organické látky, které mohou být využity v buňkách mikroorganismů. Jsou to většinou jednoduché cukry, kyseliny a alkoholy. Jejich obsah v odpadních vodách je asi 20 %.

- **Pomalu rozložitelné organické látky**

Jedná se o vysokomolekulární organické látky, rozpuštěné, nerozpuštěné a koloidní. Jsou to většinou peptidy, bílkoviny, složitější cukry a tuky. Jejich obsah ve splaškových odpadních vodách je asi 55 %.

- **Nerozložitelné organické látky**

Vyskytují se v odpadních vodách jak v podobě rozpuštěné, představující 10 % z celkového podílu organických látek, tak

i v podobě nerozpuštěné, které představují 15 % z celkového podílu organických látek. Jedná se většinou o inertní, případně toxické látky, které nemohou být mikroorganismy rozloženy a využity a zůstávají ve vyčištěných odpadních vodách jako zbytkové znečištění. [26]

Odstraňování anorganických látek

Anorganické sloučeniny, které je třeba z odpadních vod odstranit, se nazývají *nutrienty*. Pod pojmem *nutrienty* se v odpadních vodách rozumí anorganické sloučeniny fosforu a dusíku. Pokud je ve vypouštěných odpadních vodách zvýšená přítomnost sloučenin těchto dvou prvků, může to vést k několika problémům v recipientech. Zvýšená koncentrace amoniakálního dusíku má toxický vliv na vodní organismy. Zvýšená koncentrace fosforu a dusíku má za následek eutrofizaci povrchových vod. [18]

Eutrofizace

Pojmem eutrofizace povrchových vod se označuje znehodnocování a zhoršování kvality povrchové vody. Jedná se o proces obohacování stojatých a tekoucích povrchových vod živnými minerálními látkami, které zpětně vedou ke zvýšení biologické produkce a k zarůstání vodního biotopu řasami. Za hlavní příčinu eutrofizace je považována zvýšená koncentrace biogenních prvků, hlavně sloučenin fosforu a dusíku. Na eutrofizaci se také podílí zejména biocenóza a probíhající biologické pochody. Povrchová voda s vysokým obsahem fosforu a dusíku je nezávadná do té doby, než se v ní začnou vyskytovat bakterie, sinice a řasy, jejichž biologickou činností se její kvalita začne zhoršovat. Prvním signálem začínající eutrofizace je nárůst planktonních sinic a řas. Dále dochází ke zhoršení kyslíkového režimu ve vodě a hromadění jedovatých plynů, což má za následek zhoršení kyslíkových poměrů u dna a tím i vymírání organismů. Zvyšuje se zákal, snižuje se průhlednost vody a převážně během letních měsíců jsou zaznamenány značné změny koncentrace kyslíku a zvýšení koncentrace živin.

Rozlišujeme dva základní druhy eutrofizace. Eutrofizaci přirozenou, která je způsobena vyluhováním dusíku a fosforu z půdy a rozkladem odumřelých organismů ve vodě. Tento proces je nevratný a má narůstající intenzitu.

Eutrofizaci nepřírozenou tzv. indukovanou, která vzniká splachováním dusíkatých a fosforečných hnojiv z polí a dále je zapříčiněna splaškovými vodami, se zvýšeným obsahem fosforečnanů ze saponátů a z fekálií. Indukovaná eutrofizace je způsobena lidskou činností a tento proces je neustále urychlován. [27]

Odstraňování dusíku

Přísun sloučenin dusíku z odpadních vod do vod přírodních je nežádoucí z několika důvodů. Amoniakální dusík má vysokou spotřebu kyslíku, sloučeniny dusíku se podílejí na eutrofizaci povrchových vod, protože umožňují růst zelených organismů. Vyšší koncentrace dusičnanů v pitné vodě jsou nebezpečné pro děti v kojeneckém věku. Ve splaškových vodách se vyskytuje jak dusík anorganický, tak i organický. V anorganické formě jako dusík amoniakální, disociovaný iont NH_4^+ a nedisociovaný NH_3 . Podíl těchto forem závisí na teplotě vody a hodnotě pH. Oxidované formy dusíku, dusičnanový a dusitanový, nejsou v odpadní vodě přitékající na čistírnu ve významných koncentracích. Dusík v organické formě se v odpadní vodě nachází většinou v redukovaném stavu N^{III} . Hlavním cílem biologického odstraňování dusíku je zoxidovat většinu redukovaného dusíku na dusičnany a snížit koncentraci dusičnanů na hodnoty odtokových standardů. [18] [19]

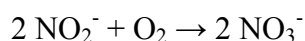
Nitrifikace

Proces nitrifikace probíhá ve dvou stupních. V prvním stupni je amoniakální dusík oxidován na dusitany pomocí bakterií rodu *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus* a *Nitrospira*. Ve druhém stupni jsou vzniklé dusitany oxidovány mikroorganismy rodu *Nitrobacter* a *Nitrocistis* na dusičnany. Obě skupiny mikroorganismů využívají jako zdroj uhlíku oxid uhličitý. Nitrifikace probíhá podle následujících dvou rovnic: [19] [28]

- Oxidace amoniakálního dusíku na dusitanový dusík – *nitritace*



- Oxidace dusitanového dusíku na dusičnanový dusík – *nitratace*



Nitrifikace je příkladem procesu, kde mikroorganismy využívají energii produkovanou oxidací anorganických sloučenin. Nitrifikační bakterie jsou striktně aerobní. V anoxických částech jsou ale schopny přežít několikahodinový pobyt, což svědčí o tom, že jsou schopny využívat i jiných akceptorů elektronů, než molekulární kyslík. Bakterie využívají oxidaci dusíkatých sloučenin jako zdroj energie. Je to poměrně komplikovaný proces s nízkým energetickým výtěžkem, a proto jsou nitrifikační bakterie pomalu rostoucí organismy. Jejich růstové rychlosti jsou o řád nižší než růstová rychlost organismů v aktivovaném kalu. [29]

Mezi faktory, které ovlivňují rychlost nitrifikace patří:

- **koncentrace rozpuštěného kyslíku**

Vzhledem k velké spotřebě kyslíku na oxidaci amoniakálního dusíku je nutno zajistit potřebnou dodávku vzdušného kyslíku, aby nedocházelo k limitaci nitrifikačních bakterií nedostatkem rozpuštěného kyslíku. Nitrifikační nádrž je proto třeba neustále provzdušňovat jemnými bublinami a koncentrace rozpuštěného kyslíku by neměla poklesnout pod 1,5-2 mg/l.

- **teplota**

Nitrifikační bakterie jsou teplotně citlivější než bakterie aktivovaného kalu. Optimální teplota pro čisté kultury je mezi 28 až 32 °C. Nitrifikace probíhá v širokém rozmezí teplot, ale pokud teplota klesne o 10 °C, rychlost nitrifikace se sníží přibližně na polovinu. Závislost na teplotě klesá s rostoucím stářím kalu. Při nižších teplotách může docházet k hromadění dusitanů.

- **hodnota pH**

Hodnota pH se pro rod *Nitrosomonas* považuje za optimální v rozmezí 7,9 až 8,2 a pro rod *Nitrobacter* 7,2 až 7,6. Při vyšších hodnotách pH může docházet k hromadění dusitanů.

- **stáří a zatížení kalu**

Stáří a zatížení kalu spolu souvisí. Účinnosti nitrifikace 90 % a vyšší u městských odpadních vod lze dosáhnout zatížením kalu pod 0,30 kg kg⁻¹d⁻¹ a stářím kalu nad pět dní. Pokud je stáří kalu nižší než

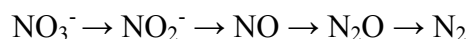
pět dní, dojde k vyplavení nitrifikátorů ze systému a nitrifikace nemůže probíhat.

- **složení odpadních vod.**

Nitrifikační bakterie jsou citlivé na celou řadu anorganických a organických látek. Z anorganických látek to jsou hlavně těžké kovy, kyanatany, kyanidy a neiontové formy NH_3 a HNO_2 . Z organických látek to jsou takové látky, které mají v molekule síru a dusík. [18] [19]

Denitrifikace

Denitrifikace je opakem nitrifikace a znamená redukci dusičnanů a dusitanů na plyný dusík a oxid dusný. Denitrifikaci mohou provádět organotrofní bakterie rodu *Micrococcus*, *Pseudomonas* aj. Oxidované formy dusíku jsou těmito bakteriemi využívány asimilačně i disimilačně. Proces nitrátové asimilace je redukce dusičnanů na amoniak za účelem získání dusíku pro syntézu buněčné hmoty. Proces, kdy organismy využívají dusičnanový dusík jako akceptor elektronů místo kyslíku se nazývá nitrátová disimilace. Denitrifikace se dá znázornit schematicky pomocí následujících rovnic:



Při denitrifikaci se uvolňují OH^- ionty, což v případě nízkých tlumivých kapacit může vést k rychlému vzrůstu pH a následně se může proces denitrifikace i zastavit. V porovnání s procesem nitrifikace je denitrifikace méně problematická, což je dáno menší citlivostí denitrifikačních bakterií. Rychlost denitrifikace se s rostoucí teplotou zvyšuje a probíhá v širokém rozmezí hodnot $\text{pH}=6-9$. [18] [19]

V dobách, kdy se začala používat aktivace k biologické nitrifikaci a denitrifikaci se používaly dvou, či tříkalové systémy. V těchto systémech se oddělovaly biocenózy zodpovědné za oxickou oxidaci organického znečištění, nitrifikaci i denitrifikaci. Později se přešlo k používání jednokalového systému, kde je jedna směsná kultura periodicky vystavena oxickým a anoxickým podmínkám, a zajišťuje tak odstraňování organických látek, nitrifikaci a

denitrifikaci. Pro biologické odstraňování dusíku se používají následující aktivační systémy:

- **Aktivační systémy s predenitrifikací**

V tomto systému se směšuje vratný aktivovaný kal s odpadní vodou za anoxických podmínek a umožňuje využít z odpadní vody organické látky jako substrát pro denitrifikaci.

- **Aktivační systémy se simultánní nitrifikací a denitrifikací**

V tomto systému je uspořádání aktivační nádrže takové, že umožňuje samovolný vznik anoxických prostorů v oxickém reaktoru, a to v místech nádrže, kde už je molekulární kyslík v důsledku respirační aktivity mikroorganismů vyčerpán.

- **Aktivace s předřazenou denitrifikací a regenerací vratného aktivovaného kalu**

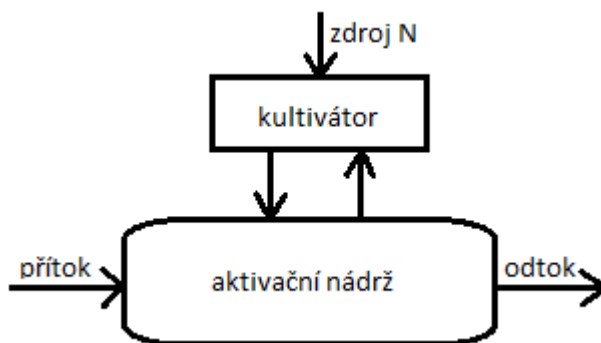
Tato technologie s regenerací vratného kalu byla použita k odstranění nedostatků aktivačního systému s predenitrifikací. Pro úplnou nitrifikaci při snížených nárocích na celkový objem systému je nutné, zajištění dostatečného aerobního stáří aktivovaného kalu. Díky regenerační zóně se zvyšuje metabolická aktivita mikroorganismů aktivovaného kalu, která vede ke zvýšení specifických rychlostí. Systém je také zabezpečen proti vláknitému bytění či biologické tvorbě pěn. Balance kyselinové neutralizační kapacity v systému lze zlepšit tím, že vstupní část regenerační zóny bude provozována jako anoxická s využitím dusičnanů ve vratném aktivovaném kalu.

- **Bioaugmentace**

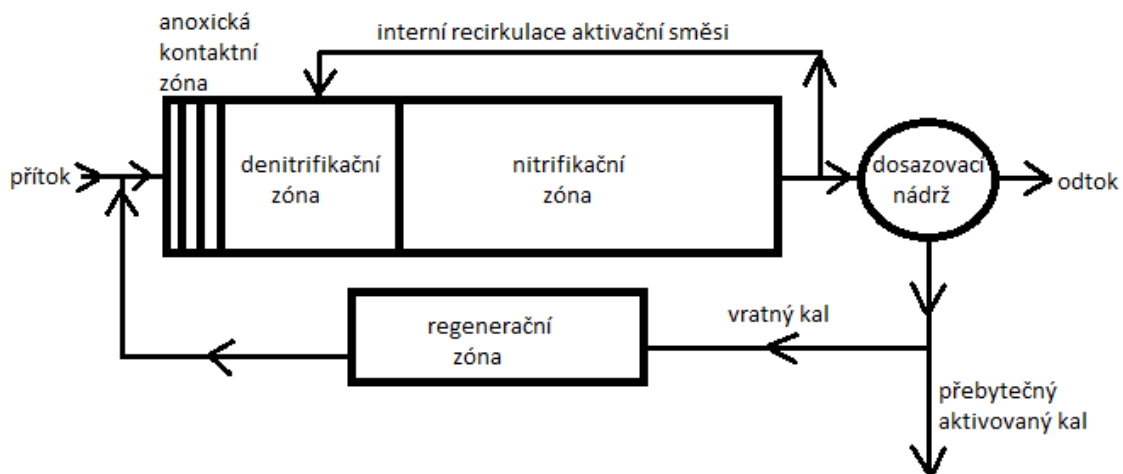
Nitrifikace je velmi citlivý proces s malým zastoupením nitrifikačních bakterií a nefunkčnost tohoto procesu bývá často způsobována nedostatečným množstvím nitrifikantů v aktivovaném kalu. Bioaugmentace je obohacování biocenózy mikroorganismy kultivovanými přímo v procesu čistírny odpadních vod. Aby proces bioaugmentace správně fungoval, je důležité vytvořit optimální podmínky pro růst nitrifikačních bakterií a zajistit potřebný substrát-amoniakální dusík. V provzdušňovaném reaktoru (kultivátoru), kam je

zavedena kalová voda jako zdroj dusíkaté látky, se provádí kultivace nitrifikačních mikroorganismů. Kultivátor je často umístěn v proudu vratného kalu. [18]

Obrázek č. 2 – bioaugmentace



Obrázek č. 3 – schéma aktivace s předřazenou denitrifikací a regenerací vratného kalu



Odstraňování fosforu

Fosfor se stejně jako dusík podílí na eutrofizaci povrchových vod a proto je jeho přísun do odpadních vod nežádoucí. V sušině řas je jeho obsah kolem 2 %, naopak dusíku až kolem 10 %. Fosfor je tedy limitujícím prvkem, který se podílí na eutrofizaci povrchových vod. Z povrchových vod lze fosfor odstranit biologickými a fyzikálně chemickými metodami. [19]

Defosfatace

Defosfatace je biologická metoda na odstraňování fosforu z odpadních vod, a je založena na schopnosti některých mikroorganismů v aktivovaném kalu, které dokážou za určitých podmínek fosfor akumulovat ve formě polyfosfátů. Dnes známe asi 20 druhů mikroorganismů, které dokážou akumulovat polyfosfáty. Tyto bakterie se obecně označují jako PP bakterie. Výhodou defosfatace proti fyzikálně srážecím metodám je to, že není spojena s vznikem anorganických kalů a nutností jejich zpracování, a že nepotřebuje chemikálie. Pro tuto metodu je nutné, aby byly specifické uhlíkaté sloučeniny, hlavně kyselina octová nebo jako rezervní látka kyselina poly- β -hydroxymáselná (PHB), k dispozici pro buňky mikroorganismů.

Princip defosfatace spočívá v tom, že je smíchán aktivovaný kal s odpadní vodou v anaerobním reaktoru. Činností fermentativních bakterií vznikají v anaerobních podmínkách z organických látek mastné kyseliny, hlavně kyselina octová. PP bakterie využívají vzniklé nižší mastné kyseliny, hydrolýzou akumulovaných polyfosfátů se získává potřebná energie pro transport do buněk. Uvnitř buněk je z nižších mastných kyselin syntetizována PHB, která se pak využívá jako endogenní substrát. Při vysokých koncentracích kyseliny octové může tento proces probíhat v anoxických, případně i oxických podmínkách.

Aktivovaný kal musí být po anaerobní fázi v anoxických nebo oxických podmínkách. Akumulovaná PHB zde slouží jako zdroj organického uhlíku pro syntézu buněčné hmoty PP bakterií a jako zdroj energie pro syntézu polyfosfátů. Za oxických podmínek jsou poté fosfáty ze systému odstraňovány v přebytečném aktivovaném kalu. Kal obsahuje v provozních podmínkách 4-6% fosforu v sušině.

Pro zvýšené biologické odstraňování fosforu musí aktivační systémy splňovat následující podmínky:

- v aktivačním systému musí být vhodně umístěna anaerobní zóna, kde dochází k tvorbě nižších mastných kyselin, depolymeraci fosfátů a syntéze zásobní PHB v buňkách PP bakterií
- aerobní zóna musí následovat za zónou anaerobní, kde dochází v buňkách PP bakterií k depolymeraci a oxidaci PHB a tvorbě polyfosfátů

- společně s přebytečným kalem se ze systému z oxické části musí odvádět fosfor
- pokud je požadováno simultánní odstraňování dusíku, oxická zóna musí být umístěna s ohledem na nitrifikaci a systém musí být navržen tak, aby dusičnany rušily uvolňování fosforu v anaerobní zóně v co nejmenší míře [11]

Fyzikálně chemické metody

Fyzikálně chemické metody na odstraňování fosforu z odpadních vod jsou založeny na tvorbě nerozpustných fosforečnanů kovů, jako hliník, vápník a železo. Při srážení je důležité kontrolovat možnou změnu hodnot pH a KNK, popřípadě ZNK. Udává se, že optimální dávka je podle typu kovu a podmínek dávkování kolem jednoho až čtyř násobku kovu k odstranění fosforu.

Podle technologie lze srážení rozdělit podle místa dávkování:

- **Předřazené srážení**

Príslušné činidlo se dávkuje před usazovací nádrž. Společně s primárním kalem jsou odstraňovány i sraženiny, které sedimentují v usazovací nádrži. Předřazené srážení může mít negativní vliv na biomasu v aktivaci sorpčním odstraněním části substrátu. Kovy, které se používají, zvyšují koagulaci organických látek, a tím mohou snížit účinnost denitrifikace, na druhou stranu ale srovnávají výkyvy v zatížení a zvyšují množství primárního kalu o kal chemický.

- **Simultánní srážení**

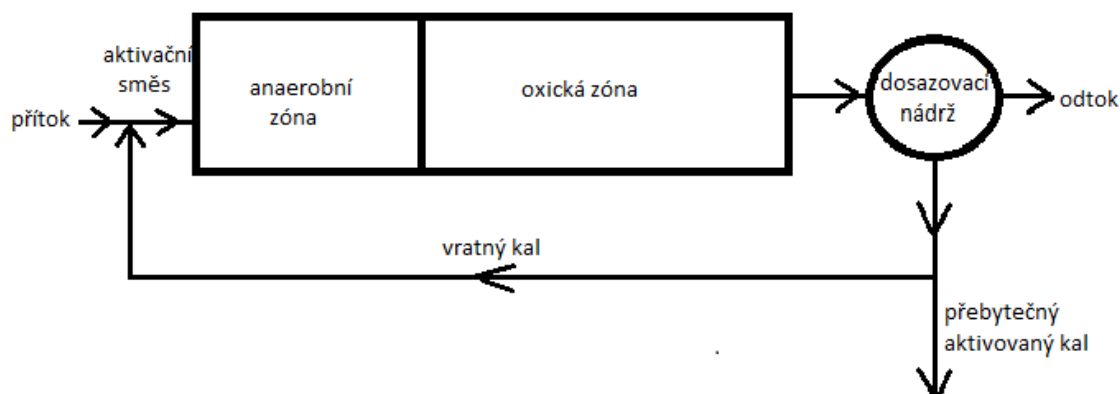
Při tomto srážení se činidlo dávkuje do směsi aktivovaného kalu a v dosazovací nádrži se sedimentují sraženiny. Tento způsob dávkování zlepšuje sedimentační vlastnosti kalu. Koncentrace kalu se zvyšuje o kal chemický a stárí kalu se snižuje při špatném propočtu odkalování aktivace.

- **Zařazené srážení**

Při tomto srážení jsou vyžadovány zvláštní reaktory na míchání a separaci, a činidlo se dávkuje za dosazovací nádrž. Vliv činidel na biomasu se úplně eliminuje. Účinnost je vysoká a dosahuje se

odtokových koncentrací fosforu pod 1 mg/l. Výhodou jsou nižší provozní náklady, nevýhodou je vyšší počáteční investice. [11]

Obrázek č. 4 – schéma odstraňování fosforu



Dosazovací nádrž

Biomasa v aktivační nádrži je schopna bioflokulace, tzn., že se spojuje do větších celků-vloček, které jsou schopny prosté sedimentace. K bioflokulaci dochází v dosazovacích nádržích, které patří k nejdůležitějším částem čistírny. Chybným návrhem dosazovací nádrže může být i jinak dobře navržená čistírna zcela znehodnocena. Dosazovací nádrž má tři hlavní úkoly:

- Od vyčištěné odpadní vody odseparovat aktivovaný kal s minimální zbytkovou koncentrací nerozpuštěných látek.
- Zahustit odsazený kal na požadovanou koncentraci.
- Pro případ zvýšeného průtoku aktivačního systému akumulovat aktivovaný kal tak, aby nedocházelo k vypalování biomasy ze systému. Požadovaná koncentrace kalu je udržována pomocí recirkulace kalu mezi dosazovací a aktivační nádrží. Takto čerpaný kal se označuje jako vratný kal. [11]

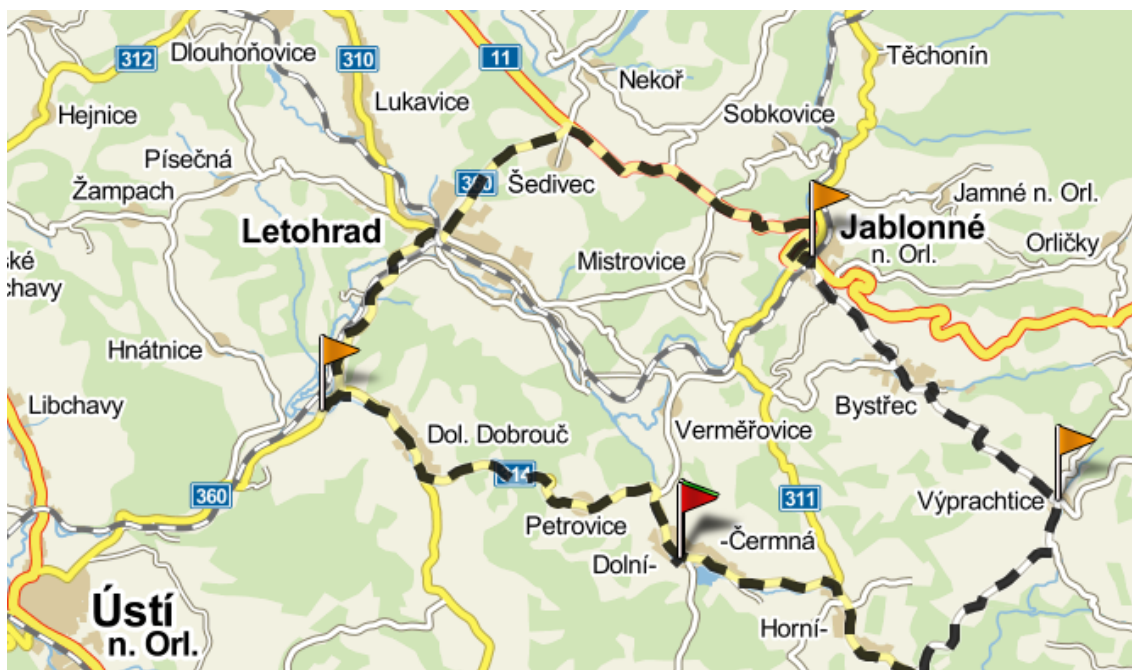
Vyčištěná voda se po mechanicko-biologickém čištění stále častěji podrobuje tzv. terciárnímu dočištění. Podle směrnice 91/271/EEC terciární čištění znamená odbourávání nutrientů v aktivačním systému, ale česká literatura má pod pojmem terciární čištění na mysli dočištění odpadních vod za dosazovací nádrží. Většinou se podle potřeby, jedná o další stupeň čistírny pro dočištění odpadních

vod, především k odstranění fosforu a nerozpuštěných látek. Nejčastěji se využívá prostá filtrace nebo řízené chemické či biologické dočišťování. [11]

2.8 Čistírny odpadních vod

Ve své diplomové práci jsem se zabýval vlivem čtyř čistíren odpadních vod na kvalitu vody v recipientu. Všechny čtyři čistírny odpadních vod se nachází ve východních Čechách v okrese Ústí nad Orlicí.

Obrázek č. 5 – mapa s čistírnami odpadních vod



2.8.1 Čistírna odpadních vod Dolní Čermná

Čistírna odpadních vod se v Dolní Čermné začala budovat v roce 2008, její spuštění bylo naplánováno na rok 2010. Čistírna je společná pro městys Dolní Čermná a obec Horní Čermná, proto byla navržena pro 3 200 ekvivalentních obyvatel. Čistírna odpadních vod se nachází na dolním konci městysu Dolní Čermná na toku Čermná.

Čistírna odpadních vod v Dolní Čermné je mechanicko-biologická a využívá technologií mechanického předčištění a aerobní stabilizace s předřazenou denitrifikací. [30]

Obrázek č. 6 – ČOV Dolní Čermná



Základní údaje [30]

Tabulka č. 7 – ČOV Dolní Čermná a návrhové parametry ČOV dle PD

Množství odpadní vody	1600 EO		Množství odpadní vody		
Q_{24}	320,0 m ³ /d		Q_{24}	512,0 m ³ /d	5,9 l/s
Q_{hmax}	30,0 m ³ /h		Q_{dmax}	768 m ³ /d	
Zatížení znečištěním			Q_{hmax}	60,0 m ³ /h	16,7 l/s
BSK ₅	96,0 kg/d	300 mg/l	Zatížení znečištěním		
CHSK _{Cr}	192,0 kg/d	600 mg/l	BSK ₅	192,0 kg/d	375 mg/l
NL	88,0 kg/d	275 mg/l	CHSK _{Cr}	384,0 kg/d	750 mg/l
N _{celk.}	17,6 kg/d	55 mg/l	NL	176,0 kg/d	344 mg/l
P _{celk.}	4,0 kg/d	12,5 mg/l	N _{celk.}	35,2 kg/d	69 mg/l
			P _{celk.}	8,0 kg/d	16 mg/l
Charakter odpadní vody		splašky	Charakter odpadní vody		splašky

Tabulka č. 8 – posouzení vlivu ČOV na recipient

Recipient: Čermenka			ČOV		
Q_{pr}	91,25	l/s	Q_{24}	5,9	l/s
BSK ₅	4,25	mg/l	BSK ₅	20	mg/l
CHSK _{Cr}	26,81	mg/l	CHSK _{Cr}	100	mg/l
NL	nesledováno	mg/l	NL	25	mg/l
N-NH ₄	nesledováno	mg/l	N-NH ₄	5	mg/l
P _{celk.}	nesledováno	mg/l	P _{celk.}	2	mg/l

Tabulka č. 9 – recipient po smísení

Recipient po smísení			Imisní standardy ukazatelů přípustného znečištění povrchových vod		
BSK₅	5,2	mg/l	BSK₅	6	mg/l
CHSK_{Cr}	31,2	mg/l	CHSK_{Cr}	35	mg/l
NL	nesledováno	mg/l	NL	30	mg/l
N-NH₄	nesledováno	mg/l	N-NH₄	0,5	mg/l
P_{celk.}	nesledováno	mg/l	P_{celk.}	0,2	mg/l

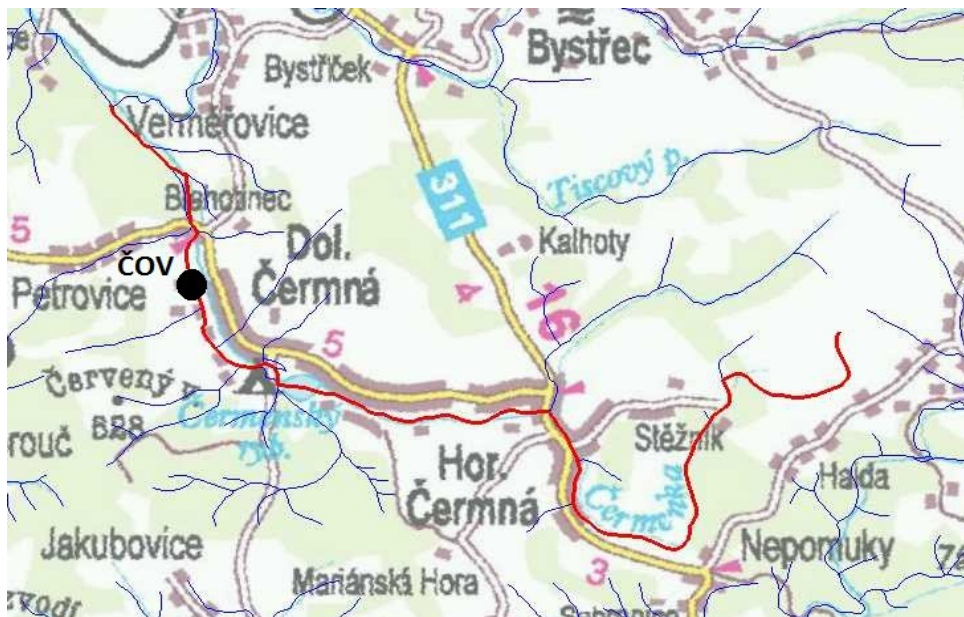
Obrázek č. 7 – odběrové místo vzorků pro ČOV Dolní Čermná



Tok Čermná

Čermná patří do oblasti povodí Labe a hydrologického povodí Tiché Orlice, do které se vlévá za obcí Verměřovice. Čermná pramení ve Výprachticích a celková délka toku je asi 14,5 km. Čistírna odpadních vod v Dolní Čermné se nachází na 12 km Čermné.

Obrázek č. 8 – mapa toku Černná s ČOV



2.8.2 Čistírna odpadních vod Dolní Dobrouč

Čistírna odpadních vod v Dolní Dobrouči byla vybudována v letech 2009 – 2010 a byla navržena na celkovou kapacitu 2 500 ekvivalentních obyvatel.

Čistírna odpadních vod je mechanicko-biologická s linkou přizpůsobenou na simultánní odbourávání organického znečištění a dusíku v hlavní lince. Nachází se na konci obce v blízkosti toku Dobroučka, do kterého je vyčištěná odpadní voda vedena kanalizací. [31]

Obrázek č. 9 – ČOV Dolní Dobrouč



Základní údaje [31]

Tabulka č. 10 – návrhové parametry ČOV Dolní Dobrouč

Množství odpadních vod		Znečištění	
Počet připojených EO	2500	Znečištění dle BSK ₅	
Množství odpadních vod	Q ₂₄	462 m ³ /d	BSK ₅ na obyvatele
	Q _d	24,4 m ³ /d	BSK ₅ bilančně
	Q _h	12,8 l/s	
		Průměrná koncentrace pro Q ₂₄	325 mg/l
Předpokládané hodnoty množství a znečištění odpadních vod na odtoku z ČOV			
množství			
Q _{max}	13 l/s	200 000 m ³ /rok	

Obrázek č. 10 – odběrové místo vzorků pro ČOV Dolní Dobrouč



Tok Dobroučka

Dobroučka patří do oblasti povodí Labe a hydrologického povodí Tiché Orlice, do které se vlévá po 200 metrech od odtokové výpusti přímo v obci Dolní Dobrouč. Dobroučka pramení v sousední obci Horní Dobrouč a celková délka toku je asi 9,5 km. Čistírna odpadních vod v Dolní Dobrouči se nachází na úplném konci Dobroučky.

Obrázek č. 11 – mapa toku Dobroučka s ČOV



2.8.3 Čistírna odpadních vod Jablonné nad Orlicí

Čistírna odpadních vod v Jablonném nad Orlicí byla vybudována v letech 1998 – 2000 a byla navržena na celkovou kapacitu 4 121 ekvivalentních obyvatel. Čistírna odpadních vod je určena pro čištění komunálních odpadních vod od obyvatel a pro čištění odpadních vod z místního průmyslu.

Čistírna je mechanicko-biologická s technologií dlouhodobé aktivace a aerobní stabilizací kalu a nachází se na levém břehu Tiché Orlice. [32]

Obrázek č. 12 – ČOV Jablonné nad Orlicí



Základní údaje [32]

Tabulka č. 11 – množství a kvalita odpadních vod a návrhové parametry

Splaškové odpadní vody			Množství odpadní vody		
Počet připojených obyvatel	obyvatel	2 560			
Krátkodobý výhled 18 %	obyvatel	490			
Rezerva rok 2030 27 %	obyvatel	691			
Celkem - Jablonné nad O.	obyvatel	3 771			
Množství odpadních vod od obyvatelstva	m ³ /d	396			
Množství odpadních vod celkem	m³/d	573,8		kg/d	226,7
	kg/d	247,3	NL	mg/l	395
Znečištění BSK ₅	mg/l	431		kg/d	45,3
			N _{celk.}	mg/l	79
Počet EO	4 121			kg/d	10,3
			P _{celk.}	mg/l	18

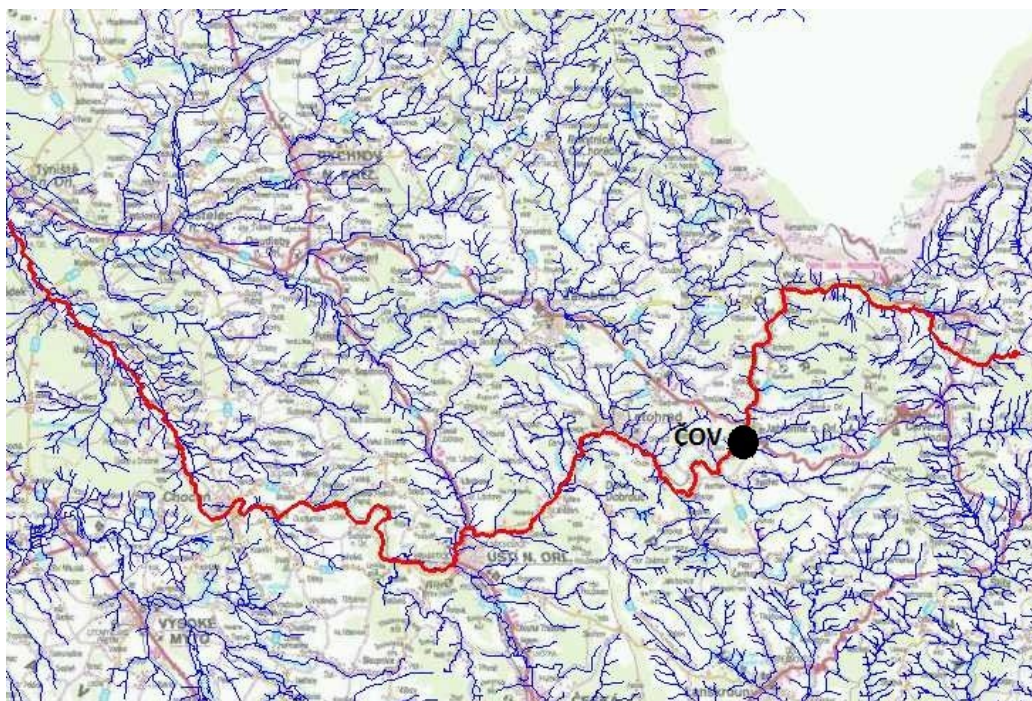
Obrázek č. 13 – odběrové místo vzorků pro ČOV Jablonné nad Orlicí



Tok Tichá Orlice

Tichá orlice je řeka pramenící pod horou Jeřáb v Hanušovické vrchovině. Patří do povodí Labe a u Albrechtic nad Orlicí tvoří společným soutokem s Divokou Orlicí řeku Orlici. Celková délka toku je 107,5 km. Čistírna odpadních vod v Jablonném nad Orlicí se nachází přibližně na 27 km.

Obrázek č. 14 – mapa toku Tichá Orlice s ČOV



2.8.4 Čistírna odpadních vod Výprachtice

Stavba čistírny odpadních vod ve Výprachticích byla zahájena v roce 2005 a spuštěna byla v roce 2007. Čistírna odpadních vod je určena pro čištění splaškových odpadních vod, produkovaných v obci a byla navržena na celkovou kapacitu 1 000 ekvivalentních obyvatel.

Čistírna odpadních vod se nachází na řece Moravská Sázava na konci obce Výprachtice. Čistírna je mechanicko-biologická s procesem čištění dlouhodobé aktivace s úplnou stabilizací kalu. [33]

Obrázek č. 15 – ČOV Výprachtice



Základní údaje [33]

Tabulka č.12 – povolení vypouštění a navrhovaná kapacita ČOV

Množství odpadní vody	1000 EO			Množství odpadní vody		
průměrné povolené $Q_{\text{prům}}$	1,64 l/s			Q_{24}	141,6 m ³ /d	1,64 l/s
maximální povolené Q_{max}	5,0 l/s			Q_{dmax}	198,2 m ³ /d	2,29 l/s
měsíční povolené	4 334 m ³ /měs			Q_{hmax}	18,2 m ³ /h	5,05 l/s
roční povolené	52008 m ³ /rok			Zatížení znečištěním		
Charakter odpadní vody		splašky		BSK ₅	56,6 kg/d	400 mg/l
				CHSK _{Cr}	103,8 kg/d	733 mg/l
				NL	51,9 kg/d	367 mg/l
				Charakter odpadní vody		splašky

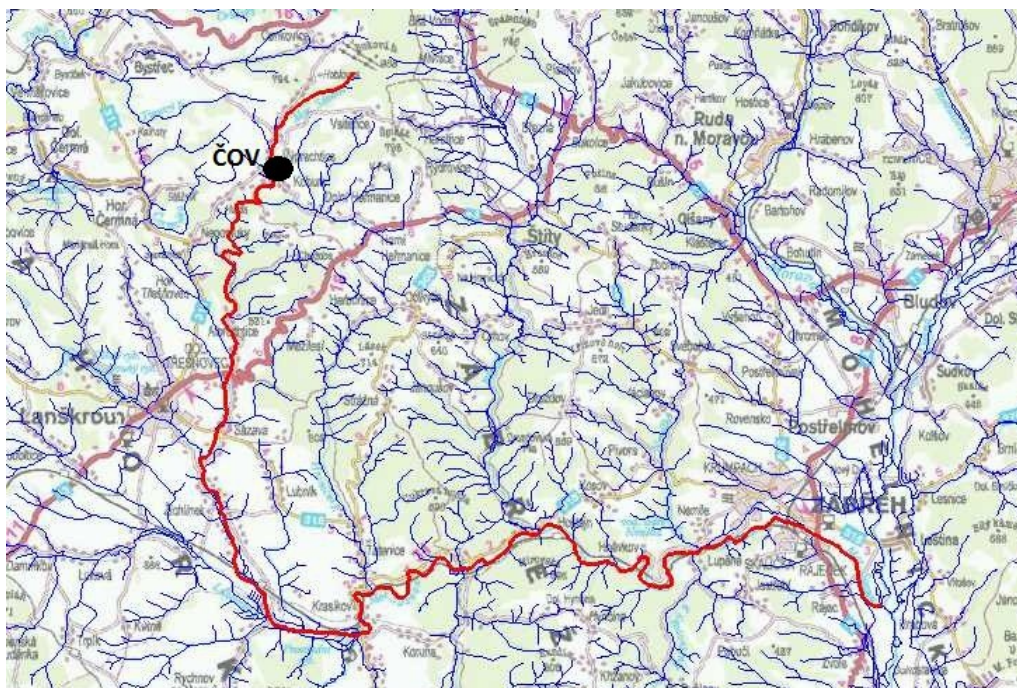
Obrázek č. 16 – odběrové místo vzorků pro ČOV Výprachtice



Tok Moravská Sázava

Řeka Moravská Sázava patří do povodí Moravy, do které se u Zvole na Šumpersku také vlévá. Pramení v Orlických horách pod Bukovou horou a celková délka toku je 54,3 km. Čistírna odpadních vod ve Výprachticích se nachází přibližně na 6 km Moravské Sázavy.

Obrázek č. 17 – mapa toku Moravská Sázava s ČOV



2.9 Charakteristika stanovovaných ukazatelů

Specifická Vodivost (konduktivita)

Konduktivita je charakterizována jako míra koncentrace ionizovatelných organických a anorganických součástí vody. Ve zředěných roztocích je konduktivita lineární funkcí koncentrace iontů. Konduktivita je převrácenou hodnotou odporu. Označuje se obvykle symbolem κ a její jednotkou je $\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$. Konduktivita závisí na koncentraci iontů, jejich nábojovém čísle, pohyblivosti a teplotě. Vzrůst nebo pokles teploty o $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ způsobuje změnu konduktivity přibližně o 2 %. Většinou se konduktivita měří při teplotě $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. [34]

pH

Voda obsahuje jak vodíkové kationty H^{+} , tak hydroxidové anionty OH^{-} . Relativní koncentrace těchto iontů určují hodnotu pH. Voda, která je považována za neutrální roztok, má pH 7 a stejnou koncentraci obou těchto typů iontů. Pokud je roztok kyselý, koncentrace iontů H^{+} je vyšší než koncentrace iontů OH^{-} . Převažující koncentrace iontů OH^{-} nad koncentrací iontů H^{+} značí zásaditý roztok. Na pH škále od 0 do 14 je 0 nejkyslejší a 14 nejzásaditější. Změna pH o jednu jednotku znamená desetinásobnou změnu koncentrace iontů H^{+} . [35]

Neutralizační kapacita

Neutralizační kapacita je schopnost vody vázat určité látkové množství kyseliny (kyselinová neutralizační kapacita) nebo zásady (zásadová neutralizační kapacita) do zvolené hodnoty pH. Je mírou tlumivé kapacity v daném rozmezí pH. Neutralizační kapacity rozdělujeme na zásadovou neutralizační kapacitu – ZNK_{pH} a kyselinovou neutralizační kapacitu – KNK_{pH} . ZNK_{pH} se rozumí takové látkové množství silné jednosytné zásady v mmol, které spotřebuje jeden litr vody k dosažení určité hodnoty pH. KNK_{pH} se rozumí takové látkové množství jednosytné silné kyseliny v mmol, které spotřebuje jeden litr vody k dosažení určité hodnoty pH. [36]

Chloridy

Chloridy jsou běžnou součástí všech přírodních vod a patří mezi nejčastěji se vyskytující ionty. V povrchových vodách mají zastoupení v desítkách mg/l. [36] Přítomnost většího obsahu chloridů geologického původu není v našich povrchových a prostých podzemních vodách obvyklá. Ve vysoké koncentraci jsou chloridy často obsaženy v odpadních splaškových vodách a některých vodách průmyslových. Stanovení chloridů patří mezi základní stanovení při rozboru pitné a přírodní vody, neboť zvýšený obsah chloridů v těchto vodách může ovlivnit hodnocení kvality této vody. [37]

Chemická spotřeba kyslíku

Chemická spotřeba kyslíku (CHSK) je definována jako množství kyslíku, které se za přesně stanovených podmínek spotřebuje na oxidaci organických látek ve vodě pomocí silného oxidačního činidla. Většinou je tímto činidlem dichroman nebo manganistan draselný. Udává se jako hmotnost kyslíku, která je ekvivalentní spotřebě oxidačního činidla na jeden litr vody. CHSK je nedílnou součástí každého rozboru všech typů vod a je důležitým ukazatelem organického znečištění vod. CHSK je parametrem, který stanovuje kyslíkový režim ve vodách a napomáhá dělit vody do tříd čistoty. [36]

Biochemická spotřeba kyslíku

Vodní organismy využívají kyslík ve formě plynu rozpuštěného ve vodě. Plynný kyslík se dostává do vodního toku jeho provzdušňováním, difúzí z atmosféry a fotosyntézou vodních rostlin a řas. Aby mohli během dýchacího procesu rostliny a živočichové vytvářet energii, spotřebovávají ve vodním toku kyslík. Zásoba kyslíku je ve zdravém vodním toku doplňována rychleji, než je spotřebovávána vodními organismy. Aerobní bakterie rozkládají tak obrovské množství organického materiálu, že v některých vodních tocích je kyslík spotřebováván rychleji, než může být nahrazen. Výsledné snížení množství rozpuštěného kyslíku ve vodě je známo jako biochemická spotřeba kyslíku (BSK). [35]

Dusičnany

Ionty dusičnanů, které se nacházejí ve vzorcích sladké vody, pocházejí z různých přírodních i lidmi vytvořených zdrojů. Jsou důležitým zdrojem dusíku, nezbytného pro rostliny a živočichy k syntéze aminokyselin a proteinů. Většina dusíku na zemi se nachází v atmosféře ve formě plynného dusíku, N_2 . V koloběhu dusíku se plynný dusík mění na formy, které mohou rostliny a živočichové přímo využívat. Proměna na tyto formy může probíhat jak v rámci průmyslové produkce hnojiv, tak v rámci přírodních procesů, jako jsou například fixace dusíku v rostlinách luštěnin, rozklad živočichů a rostlin, nebo živočišné vyměšování. [35]

Dusitany

Dusitany ve vodách vznikají většinou jako přechodný člen v cyklu dusíku při biologické redukci dusičnanů nebo biologické oxidaci amoniakálního dusíku. Proto zpravidla doprovázejí dusičnany a amoniakální dusík, obvykle se ale vyskytují jen v malých koncentracích, neboť jsou velmi nestálé. V čistých přírodních vodách nebývají dusitany obsaženy vůbec, nebo jsou tu jen ve velmi nízkých koncentracích. V silněji znečištěných podzemních vodách, v odpadních splaškových vodách a hlavně v povrchových vodách mohou koncentrace dusitanů dosahovat hodnot řádově jednotek mg/l. Dusitany patří proto mezi významné indikátory fekálního znečištění podzemních a pitných vod. [37]

Amoniakální dusík

Amonné kationy NH_4^+ jsou jednou z důležitých dusíkatých živin nutných pro výživu vodních rostlin a řas. V povrchové vodě se většina amoniaku, nachází ve formě amonných kationtů, NH_4^+ . Tento fakt nám umožňuje určit koncentraci dusíku jak ve formě amoniaku, tak ve formě amonných kationtů (běžně se oběma těmito formám říká amoniakální dusík), změřením pouze koncentrace amonných kationtů. [35]

Fosforečnany

Fosfor patří mezi zásadní a důležité živiny pro všechny vodní rostliny a řasy. Potřeba ho je ale jen velmi malé množství, a tak může snadno dojít k tomu,

že ho je ve vodě nadmíra. Větší koncentrace se obvykle považují za znečišťující a mohou vést k eutrofizaci – situaci, kdy velké množství živin, jako je například fosfor, způsobuje zvýšený růst rostlin a řas. Eutrofizace může vést ke snížení hladiny rozpuštěného kyslíku ve vodě a způsobit, že bude voda neobyvatelná pro mnoho vodních organismů. Fosfor je většinou limitujícím faktorem, určující, jaká míra eutrofizace nastane. [35]

Průtoky

Průtok patří mezi základní hydrologické veličiny. Určuje objem vody, která proteče konkrétním profilem vodního toku za určený čas. Průtok se většinou měří v krychlových metrech za sekundu (m^3/s). K určení průtoku se měří příčný profil potoka nebo řeky. Je to důležitý faktor v ekosystému řeky či potoka a má vliv na mnoho dalších fyzikálních charakteristik toku jako je teplota či kalnost, a ovlivňuje tak i chemické a biologické aspekty daného vodního toku. Živočichové a vodní rostliny závisí na průtoku, pokud jde o klíčové živiny a potravu, které proud přináší, a pokud jde o odpad, který odnáší. [35]

3 Praktická část

3.1 Stanovení jednotlivých ukazatelů

Konduktivita

Konduktivitu vzorku měříme konduktometrem s příslušnou elektrodou. Před každým měřením je nutné změřit teplotu vzorku a nastavit aktuální teplotu.

pH

Stanovení pH se provádí podle normy ČSN ISO 10 523

Hodnotu pH stanovíme pomocí vhodného pH metru.

Neutralizační kapacita

Zásadová neutralizační kapacita – ZNK_{8,3} – celková acidita

Stanovení ZNK se provádí podle normy ČSN 75 7372

Kyselinová neutralizační kapacita – KNK_{4,5} – celková alkalita

Stanovení KNK se provádí podle normy ČSN EN ISO 9963-1

Chloridy

Argentometrické stanovení podle Mohra

Stanovení chloridů se provádí podle normy ČSN ISO 9297

Argentometrie je odměrná analytická metoda, založená na vzniku nerozpustných sloučenin stříbra. Jako odměrný roztok se používá 0,02 N dusičnanu stříbrného. K indikaci bodu ekvivalence používáme 5 % roztok chromanu draselného. Vznik trvalého cihlového zabarvení sraženiny chromanu stříbrného signalizuje ukončení titrace

Chemická spotřeba kyslíku

Kubelova metoda CHSK - Mn

Stanovení chemické spotřeby kyslíku se provádí podle normy ČS EN ISO 8467

Stanovení chemické spotřeby kyslíku je založeno na oxidaci organických látek manganistanem draselným v prostředí kyseliny sírové při desetiminutovém varu. Oxidace se děje přebytkem KMnO_4 a jeho úbytek je úměrný množství organických látek.

Biochemická spotřeba kyslíku

Stanovení BSK se provádí podle normy ČSN EN 1899-2

Kyslík rozpuštěný ve vzorku vody reaguje s hydroxidem manganatým v alkalickém prostředí za vzniku ekvivalentního množství hydroxidu manganitého a manganičitého. Mangan s vyšším oxidačním číslem přechází po okyselení vzorku a po přidavku jodidu opět na ion manganatý, přitom jodid oxiduje na ekvivalentní množství jodu. Jod se pak stanoví titrací odměrným roztokem thiosíranu na indikátor škrob.

Dusičnany

Stanovení dusičnanů se provádí podle normy ČSN ISO 7890-3

Stanovení dusičnanů se provádí spektrofotometricky při vlnové délce 214 nm.

Dusitany

Stanovení dusitanů se provádí podle normy ČSN EN 26 777

Principem stanovení dusitanů je diazotace kyseliny sulfanilové dusitanem v kyselém prostředí a kopulace vzniklé diazoniové soli s 1-naftylaminem. Vzniká červenofialové azobarvivo, které má absorpční maximum při 520 nm.

Amoniakální dusík

Stanovení amoniakálního dusíku se provádí podle normy ČSN ISO 7150-1

Spektrometrické měření modré sloučeniny asi při 655 nm; sloučenina vzniká reakcí amonných iontů se salicylanem a chlornanovými ionty v přítomnosti nitrosopentakynoželezitanu sodného (nitroprussidu sodného). Chlornanové ionty se tvoří in situ alkalickou hydrolyzou sodné soli N,N-dichlor-1,3,5-triazin-2,4,6 (1H,3H,5H)-trionu (dichlorisokyanuratan sodný). Při pH 12,6 reaguje vznikající chloramin v přítomnosti nitroprussidu sodného se salicylanem sodným. Vzhledem k tomu jsou do stanovení zahrnuty jakékoliv ve vzorku přítomné chloraminy. Součástí činidla je citronan sodný, který maskuje rušivé vlivy kationtů, zvláště vápníku a hořčíku

Fosforečnany

Stanovení fosforečnanů se provádí podle normy ČSN EN ISO 10304-1

Princip je založen na reakci orthofosforečnanů s molybdenanem amonným v prostředí kyseliny sírové s následnou redukcí (chloridem cínatým) vzniklého komplexu kyseliny molybdatofosforečné na fosfomolybdenanovou modř. Množství PO_4^{3-} měříme spektrofotometricky při vlnové délce 700 nm.

Průtoky

Měření průtoků jsem si prováděl sám, po odborné instruktáži od mé školitelky.

Změřil jsem pásmem šířku a hloubku toku, poté jsem si vyznačil deset metrů ve směru toku a pomocí plováku a stopek jsem měřil čas, za který plovák urazí stanovenou dráhu. Ze získaných hodnot jsem pomocí příslušného vzorce pro průtok vypočítal průměrnou hodnotu průtoku.

4 Výsledky

Hodnocení údajů vybraných ukazatelích jakosti vody vychází z normy ČSN – 75 7221 - Klasifikace jakosti povrchových vod. Klasifikace jakosti vody se podle každého jednotlivého ukazatele řadí do určité třídy jakosti vody. Výsledná třída vychází srovnáním vypočtené charakteristické hodnoty tohoto ukazatele s jemu odpovídající soustavou mezných hodnot. Mezní hodnoty ukazatelů jakosti vody pro jednotlivé třídy jakosti vody jsou uvedeny v tabulce č. 13.

Charakteristická hodnota ukazatele jakosti vody je hodnota s pravděpodobností nepřekročení 90 %. U rozpuštěného kyslíku je to hodnota s pravděpodobností překročení 90 %.

Jakost vody se klasifikuje na základě výsledků kontroly z delšího uceleného období. Nejkratší hodnocené období je jeden rok. Je-li nutno klasifikovat jakost vody při četnosti 11 až 23 hodnot za období, vybere se za charakteristickou hodnotu hodnota ležící na tom místě vzestupné (pro rozpuštěný kyslík sestupné) řady hodnot, která odpovídá hodnotě 90 % z počtu hodnot, zaokrouhlené na celé číslo (pro 11 až 15 hodnot je to hodnota předposlední, pro 16 až 23 hodnot je to hodnota třetí odzadu). Jakost vody se klasifikuje zvlášť pro každý jednotlivý ukazatel. Výsledná třída jakosti toku je pak dána nejhůře vyhodnoceným ukazatelem.

Tekoucí povrchové vody se podle jakosti vody zařazují do 5 tříd jakosti:

- I neznečištěná voda
- II mírně znečištěná voda
- III znečištěná voda
- IV silně znečištěná voda
- V velmi silně znečištěná voda

Třída I-neznečištěná voda : Stav povrchové vody, který nebyl významně ovlivněn lidskou činností, při kterém ukazatele jakosti vody nepřesahují hodnoty odpovídající běžnému přirozenému pozadí v tocích.

Třída II-mírně znečištěná voda : Stav povrchové vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatele jakosti vody dosahují hodnot, které umožňují existenci bohatého, vyváženého a udržitelného ekosystému.

Třída III-znečištěná voda : Stav povrchové vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatele jakosti vody dosahují hodnot, které nemusí vytvořit podmínky pro existenci bohatého, vyváženého a udržitelného ekosystému.

Třída IV-silně znečištěná voda : Stav povrchové vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatele vody dosahují hodnot, které vytvářejí podmínky, umožňující existenci pouze nevyváženého ekosystému.

Třída V-velmi silně znečištěná voda : Stav povrchové vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatele jakosti vody dosahují hodnot, které vytvářejí podmínky, umožňující existenci pouze silně nevyváženého ekosystému. [38]

Tabulka č. 13 – mezní hodnoty tříd jakosti vody (ČSN 75 7221)

Ukazatel	Jednotka	Třída				
		I	II	III	IV	V
Obecné, fyzikální a chemické ukazatele						
elektrolytická konduktivita	mS/m	< 40	< 70	< 110	< 160	≥ 160
chemická spotřeba kyslíku manganistanem	mg/l	< 6	< 9	< 14	< 20	≥ 20
amoniakální dusík	mg/l	< 0,3	< 0,7	< 2	< 4	≥ 4
dusičnanový dusík	mg/l	< 3	< 6	< 10	< 13	≥ 13
chloridy	mg/l	< 100	< 200	< 300	< 450	≥ 450
vápník	mg/l	< 150	< 200	< 300	< 400	≥ 400
celkový fosfor	mg/l	< 0,05	< 0,15	< 0,4	< 1	≥ 1

V hlavním textu diplomové práce je vyhodnocen tok Moravská Sázava a ČOV Výprachtice. Ostatní toky a čistírny odpadních vod jsou v příložené příloze.

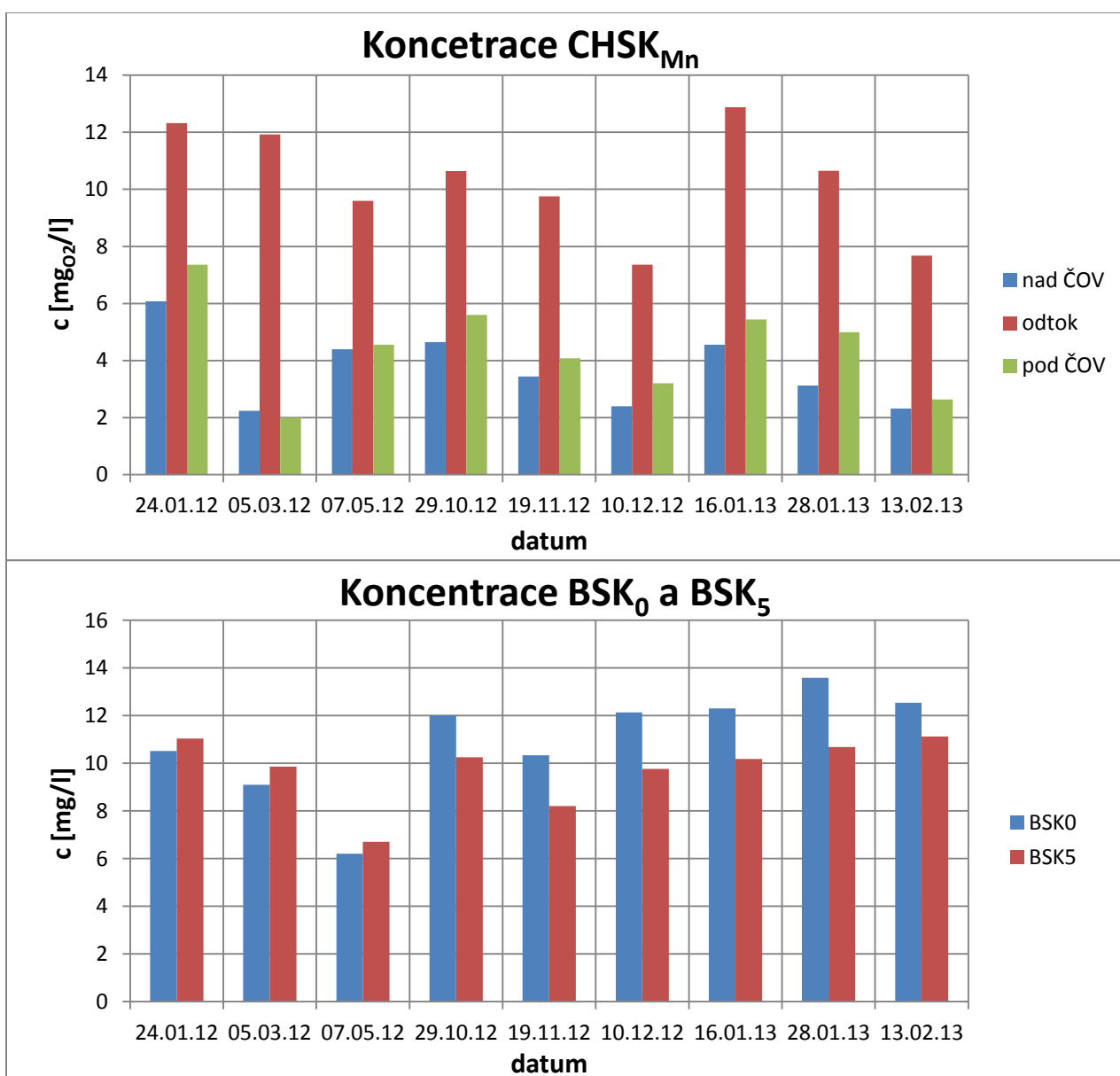
Tabulka č. 14 – vybrané fyzikálně-chemické parametry toku Moravská Sázava a ČOV Výprachtice

Datum	24.1.12	24.1.12	24.1.12	5.3.12	5.3.12	5.3.12	7.5.12	7.5.12	7.5.12	29.10.12	29.10.12	29.10.12	19.11.12	19.11.12	jednotky
Výprachtice	nad	odtok	pod	nad	odtok	pod	nad	odtok	pod	nad	odtok	pod	nad	odtok	
KNK _{4,5}	0,7	1,69	0,6	0,3	1,29	0,3	0,63	0,73	0,73	0,83	0,42	0,62	0,73	1,04	mmol/l
ZNK _{8,3}	0,1	0,68	0,1	0,1	0,1	0,1	0,18	0,27	0,18	0,09	0,27	0,09	0,09	0,18	mmol/l
pH	7,3	6,95	7,74	7,04	6,9	7	8,13	7,41	8,01	7,08	5,94	7,33	7,21	6,51	
Cl ⁻	3,55	26,23	4,96	2,78	20,85	1,39	4,91	38,61	9,13	5,62	38,61	5,62	2,81	36,48	mg/l
NO ₃ ⁻	21,65	36,71	24	23,53	36,24	23,53	20,49	37,72	22,12	16,05	57,57	16,05	19,37	50,37	mg/l
NO ₂ ⁻	0,02	4,78	0,03	0,03	1	0,03	0,03	1,56	0,04	0,06	0,16	0,06	0,06	0,08	mg/l
NH ₄ ⁺	0,43	13,87	0,31	0,17	7,6	0,21	0,34	8,2	0,42	0,24	0,39	0,2	0,26	0,3	mg/l
PO ₄ ³⁻	0,07	0,45	0,08	0,06	0,6	0,06	0,06	0,5	0,08	0,16	0,65	0,17	0,1	0,72	mg/l
CHSK _{Mn}	6,08	12,32	7,36	2,24	11,92	2	4,4	9,6	4,56	4,64	10,64	5,6	3,44	9,76	mg/l
vodivost	157,2	443	155,1	164	185	165	155,7	372	159,8	154	402	155	138,8	348	µs/cm
BSK ₀	10,51			9,1			6,2			12,02			10,34		
BSK ₅	11,04			9,86			6,71			10,25			8,2		
datum	10.12.12	10.12.12	10.12.12	16.1.13	16.1.13	16.1.13	28.1.13	28.1.13	28.1.13	13.2.13	13.2.13	13.2.13	jednotky		
Výprachtice	nad	odtok	pod	nad	odtok	pod	nad	odtok	pod	nad	odtok	pod			
KNK _{4,5}	0,52	0,52	0,73	0,42	0,42	0,42	0,42	1,14	0,62	0,73	0,94	0,73	mmol/l		
ZNK _{8,3}	0,09	0,18	0,09	0,1	0,19	0,1	0,1	0,29	0,1	0,1	0,1	0,1	mmol/l		
pH	7,26	6,49	7,8	7,26	6,36	7,03	7,92	7,46	7,73	7,19	6,74	7,13			
Cl ⁻	3,51	42,82	2,81	4,25	28,36	4,96	2,84	35,45	2,84	3,55	31,91	4,25	mg/l		
NO ₃ ⁻	17,71	52,04	18,82	23,25	52,04	24,91	22,7	47,61	22,7	24,36	45,39	22,7	mg/l		
NO ₂ ⁻	0,17	0,24	0,16	0,02	0,8	0,03	0,03	0,3	0,03	0,02	0,73	0,03	mg/l		
NH ₄ ⁺	0,37	0,17	0,36	0,19	0,37	0,21	0,33	0,34	0,27	0,19	2,46	0,39	mg/l		
PO ₄ ³⁻	0,12	0,55	0,14	0,06	0,25	0,13	0,08	0,39	0,1	0,06	0,16	0,09	mg/l		
CHSK _{Mn}	2,4	7,36	3,2	4,56	12,88	5,44	3,12	10,65	4,99	2,32	7,68	2,64	mg/l		
vodivost	133,7	364	134,2	133	302	136	136,5	347	147	122,7	302	127,4	µs/cm		
BSK ₀	12,13			12,3			13,59			12,54			mg/l		
BSK ₅	9,76			10,18			10,68			11,12			mg/l		

Tabulka č. 15 a grafy č. 7 a 8 – koncentrace $CHSK_{Mn}$, BSK_0 a BSK_5 pro ČOV

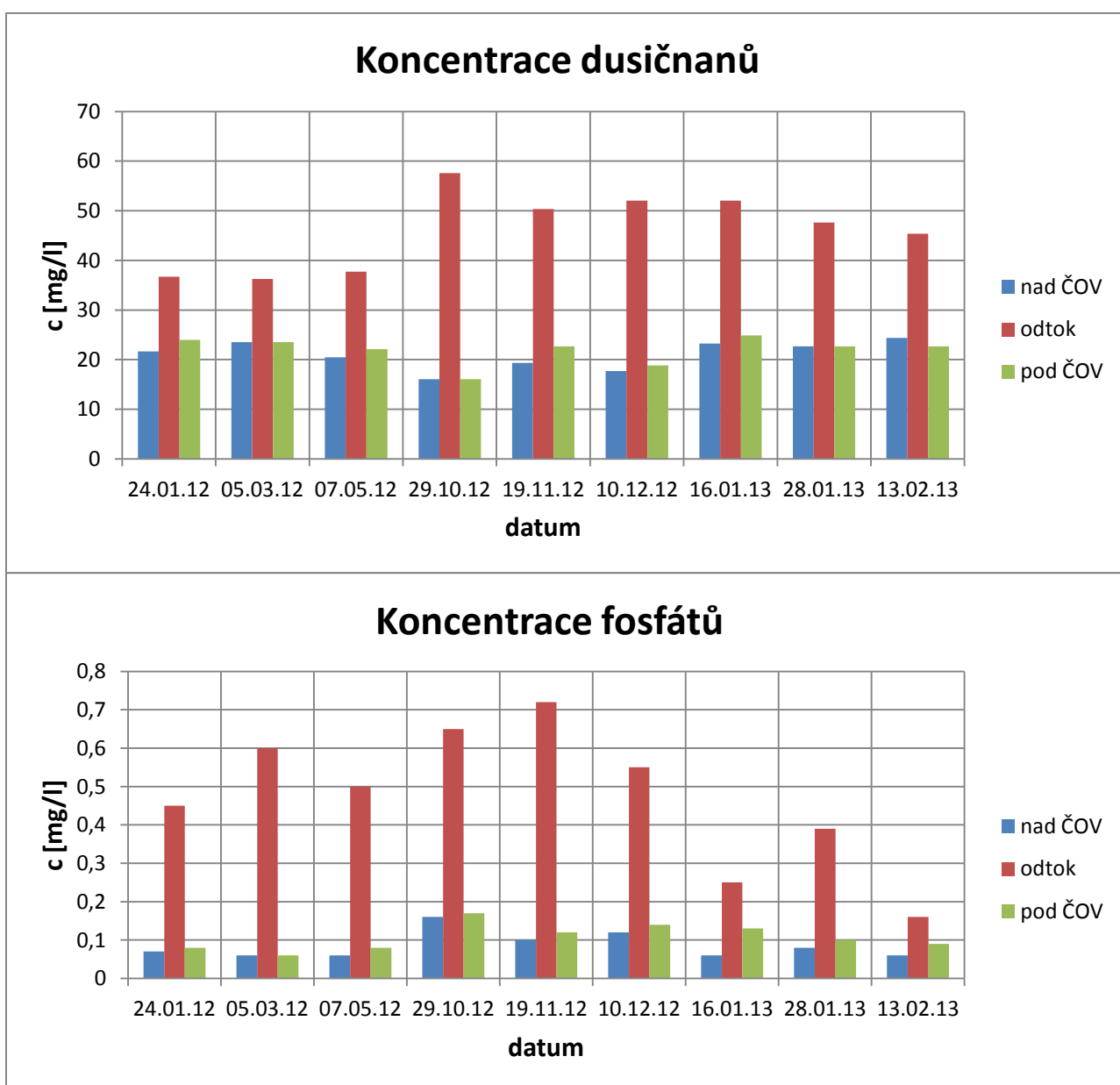
Výprachtice a tok Moravská Sázava

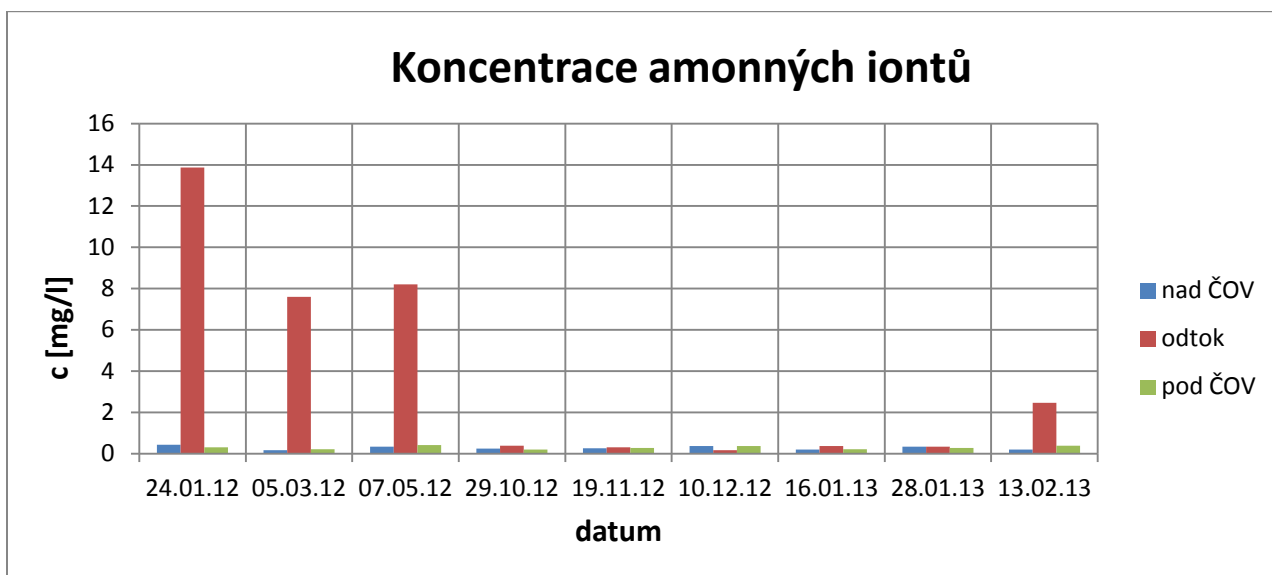
$CHSK_{Mn}$	nad	odtok	pod	BSK	0	5
datum	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	datum	[mg/l]	[mg/l]
24.1.2012	6,08	12,32	7,36	24.1.2012	10,51	11,04
5.3.2012	2,24	11,92	2	5.3.2012	9,1	9,86
7.5.2012	4,4	9,6	4,56	7.5.2012	6,2	6,71
29.10.2012	4,64	10,64	5,6	29.10.2012	12,02	10,25
19.11.2012	3,44	9,76	4,08	19.11.2012	10,34	8,2
10.12.2012	2,4	7,36	3,2	10.12.2012	12,13	9,76
16.1.2013	4,56	12,88	5,44	16.1.2013	12,3	10,18
28.1.2013	3,12	10,65	4,99	28.1.2013	13,59	10,68
13.2.2013	2,32	7,68	2,64	13.2.2013	12,54	11,12



Tabulka č. 16 a grafy č. 9, 10 a 11 – koncentrace dusičnanů, fosfátů a amonných iontů pro ČOV Výprachtice a tok Moravská Sázava

NO_3^-	nad	odtok	pod	PO_4^{3-}	nad	odtok	pod	NH_4^+	nad	odtok	pod
datum	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	datum	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	datum	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
24.1.2012	21,65	36,71	24	24.1.2012	0,07	0,45	0,08	24.1.2012	0,43	13,87	0,31
5.3.2012	23,53	36,24	23,53	5.3.2012	0,06	0,6	0,06	5.3.2012	0,17	7,6	0,21
7.5.2012	20,49	37,72	22,12	7.5.2012	0,06	0,5	0,08	7.5.2012	0,34	8,2	0,42
29.10.2012	16,05	57,57	16,05	29.10.2012	0,16	0,65	0,17	29.10.2012	0,24	0,39	0,2
19.11.2012	19,37	50,37	22,7	19.11.2012	0,1	0,72	0,12	19.11.2012	0,26	0,3	0,27
10.12.2012	17,71	52,04	18,82	10.12.2012	0,12	0,55	0,14	10.12.2012	0,37	0,17	0,36
16.1.2013	23,25	52,04	24,91	16.1.2013	0,06	0,25	0,13	16.1.2013	0,19	0,37	0,21
28.1.2013	22,7	47,61	22,7	28.1.2013	0,08	0,39	0,1	28.1.2013	0,33	0,34	0,27
13.2.2013	24,36	45,39	22,7	13.2.2013	0,06	0,16	0,09	13.2.2013	0,19	2,46	0,39





Tabulka č. 17 – průměry naměřených hodnot a výsledná koncentrace v toku
Moravská Sázava po smísení

Průměry naměřených hodnot			
Výprachtice	nad [mg/l]	pod [mg/l]	odtok [mg/l]
CHSK _{Mn}	3,69	4,43	10,31
BSK ₀	10,97		
BSK ₅	9,76		
NO ₃ ⁻	21,01	21,95	46,19
NH ₄ ⁻	0,28	0,31	3,74
PO ₄ ³⁻	0,09	0,11	0,47
průtok	0,689 [m ³ /s]		0,0016 [m ³ /s]
Výsledná koncentrace v toku po smísení vypočítaná směšovací rovnicí			
CHSK _{Mn}	4,44		mg/l
NO ₃ ⁻	22,01		mg/l
PO ₄ ³⁻	0,11		mg/l
NH ₄ ⁻	0,32		mg/l

Ukázka směšovací rovnice pro výpočet koncentrace CHSK_{Mn}:

$$c_{CHSK_{Mn}} = \frac{(Q_{tok} * c_{CHSK_{Mn_{tok}}}) + (Q_{odtok} * c_{CHSK_{Mn_{odtok}}})}{(Q_{tok} + Q_{odtok})}$$

$$c_{CHSK_{Mn}} = \frac{(0,689 * 4,43) + (0,0016 * 10,31)}{(0,689 + 0,0016)} = 4,44 \text{ mg/l}$$

Tabulka č. 18 – hodnoty pro výpočet výsledné třídy jakosti toku M. Sázava

konduktivita [μs/cm]	BSK ₅ [mg/l]	CHSK _{Mn} [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	amoniakální dusík [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	dusičnanový dusík [mg/l]	PO ₄ ³⁻ [mg/l]	celkový fosfor [mg/l]	Cl ⁻ [mg/l]
165	11,12	7,36	0,43	0,33	24,91	5,62	0,17	0,06	9,13
164	11,04	6,08	0,42	0,33	24,36	5,50	0,16	0,05	5,62
159,8	10,68	5,6	0,39	0,30	24	5,42	0,14	0,05	5,62
158,5	10,25	5,44	0,37	0,29	23,53	5,31	0,13	0,04	5,61
157,2	10,18	4,99	0,36	0,28	23,53	5,31	0,12	0,04	4,96
155,7	9,86	4,64	0,34	0,26	23,25	5,25	0,12	0,04	4,96
155,1	9,76	4,56	0,33	0,26	22,7	5,13	0,1	0,03	4,91
155	8,2	4,56	0,31	0,24	22,7	5,13	0,1	0,03	4,25
154	6,71	4,4	0,27	0,21	22,7	5,13	0,09	0,03	4,25
147		4,08	0,27	0,21	22,7	5,13	0,08	0,03	3,55
138,8		3,44	0,26	0,20	22,12	4,99	0,08	0,03	3,55
136,5		3,2	0,24	0,19	21,65	4,89	0,08	0,03	3,51
136		3,12	0,21	0,16	20,49	4,63	0,07	0,02	2,84
134,2		2,64	0,21	0,16	19,37	4,37	0,06	0,02	2,84
133,7		2,4	0,2	0,16	18,82	4,25	0,06	0,02	2,81
133		2,32	0,19	0,15	17,71	4,00	0,06	0,02	2,81
127,4		2,24	0,19	0,15	16,05	3,62	0,06	0,02	2,78
122,7		2	0,17	0,13	16,05	3,62	0,06	0,02	1,39
medián	medián	medián		medián		medián		medián	medián
150,50	10,18	4,24		0,21		5,13		0,03	3,90
průměr	průměr	průměr		průměr		průměr		průměr	průměr
146,31	9,76	4,06		0,22		4,85		0,03	4,19

Amonné ionty, dusičnany byly přepočítány na amoniakální dusík a dusičnanový dusík. Obsah fosforu je vyjádřen jako anorganický fosfor podle následující tabulky:

Tabulka č. 19 – hodnoty pro přepočet vybraných ukazatelů

Přepočet vybraných ukazatelů jakosti					
1 mg	NH ₄ ⁺	=	0,7777	mg	N-NH ₃
	NO ₃ ⁻		0,2258		N-NO ₃ ⁻
	PO ₄ ³⁻		0,3263		P _c

Tabulka č. 20 – průměrné hodnoty ostatních ukazatelů

Průměry naměřených hodnot			
	tok	odtok	jednotky
ZNK _{8,3}	0,11	0,25	mmol/l
KNK _{4,5}	0,61	0,91	mmol/l
pH	7,4	6,75	
NO ₂ ⁻	0,05	1,07	mg/l
BSK ₀	10,97		mg/l

*Tabulka č. 21 – vybrané fyzikálně-chemické parametry toku – Klasifikace
jakosti toku Moravská Sázava podle ČSN 75 7221*

Ukazatel		Průměr	Medián	Charakteristická hodnota	Třída jakosti
elektrolytická konduktivita	µs/cm	146,31	150,5	159,8	IV
biochemická spotřeba kyslíku pětidenní	mg/l	9,76	10,18	10,68	IV
chemická spotřeba kyslíku manganistanem	mg/l	4,06	4,24	5,6	I
amoniakální dusík	mg/l	0,22	0,21	0,3	II
dusičnanový dusík	mg/l	4,85	5,13	5,42	II
celkový fosfor	mg/l	0,03	0,03	0,05	II
chloridy	mg/l	4,19	3,9	5,62	I
Výsledná třída jakosti					IV

Odběry vzorků a měření kvality vody bylo prováděno od ledna roku 2012 do února roku 2013. Z naměřených hodnot, uvedených v tabulce č. 14 je patrné, že hodnoty jednotlivých ukazatelů jakosti kvality vody nejsou čistírnou odpadních vod výrazně změněny a tok zůstává u všech ukazatelů téměř na shodných hodnotách jako před vypuštěním odpadních vod do toku.

5 Diskuse

Jakost povrchových vod ovlivňují jak bodové zdroje znečištění (města a obce, průmyslové závody a objekty soustředěné zemědělské výroby), tak i zdroje plošné (smyv ze zemědělských ploch, malé zdroje do 2000 EO a celkový splach). Tyto zdroje jsou v současné době klíčové. Odpadní vody vypouštěné do povrchových vod (recipientů) způsobují estetické problémy, ale hlavně vnáší do recipientů organické látky, patogenní mikroorganismy a další látky, které působí negativně na vodní ekosystém. Mikrobiálním rozkladem organických látek a amoniakálního dusíku v recipientu dochází k značnému úbytku rozpuštěného kyslíku, což má značně negativní vliv na možnosti existence vyšších živočichů v toku. Vnášení těchto nutrientů má za následek eutrofizaci toku.

Nepříjemným faktem je, že ovlivnění povrchových vod odpadními vodami není jen záležitost lokální a krátkodobá. Eutrofizace povrchových vod se projevuje i na vzdálenost desítek kilometrů a chronická toxicita představována hlavně látkami usazenými v nánosech a splaveninách na dně toku působí negativně i desítky let.

Nejobvyklejším recipientem pro vyčištěné odpadní vody jsou povrchové vody. V místě zaústění vyčištěné odpadní vody probíhá postupné míšení vody odpadní a povrchové, čímž je obvykle zhoršena kvalita povrchové vody. Kvalita vody pod čistírnou odpadních vod je ovlivněna několika faktory:

- průtokem vody v toku
- kvalitou vyčištěné odpadní vody
- druhem a provozem kanalizace

Průtoky kolísají v závislosti na srážkách a na ročním období. Nejvyšší průtoky se objevují v jarních měsících, kdy tají sněhy a nejnižší v letním období, kdy u malých toků dochází až ke ztrátě vody. Poměr míšení odpadní vody se provádí pomocí směšovací rovnice, z které vyplyne posouzení vlivu zdroje znečištění na recipient. Výpočet se provádí na průměrný průtok v toku. Koncentrace znečištění v toku po smíšení musí odpovídat nařízení vlády

Kvalita vyčištěné odpadní vody – práce je věnována malým ČOV, u kterých je nutno vzít v úvahu, že současná legislativa (především po zavedení imisních standard) klade na malé čistírny prakticky stejné požadavky, jako na velké čistírny. Tedy i na malých čistírnách je nutné zabezpečit úplné odbourávání sloučenin fosforu a dusíku na prakticky stejné koncentrace, jako na velkých čistírnách. Podobné je to i v oblasti kalového hospodářství, kde jsou dnes velmi přísné legislativní požadavky, jak na vlastní parametry kalu, tak i na obtěžování okolí hlukem, zápachem, aerosoly apod. Dříve stačila jen jedna nádrž a často pouze míchaná. Technologická linka malých ČOV je podobná jako u velkých s tím rozdílem, že malá ČOV je podstatně více ovlivňována nerovnoměrností přítoku i stavem kanalizace.

Velmi problematická je i funkce malé ČOV na jednotné kanalizaci, kde především v době jarního tání sněhu natéká na ČOV natolik čistá a studená voda, že všechny biologické procesy (nitrifikace a denitrifikace) jsou silně inhibovány. Monitorováním několika druhů kanalizací bylo dokázáno, že vliv dopravy odpadních vod má podstatný vliv na jejich kvalitu. Přímý vliv na volbu technologie a návrh parametrů čistírny odpadních vod má volba druhu kanalizace. V souvislosti s druhem použité kanalizace je při projektování čistírny odpadních vod nutné zohlednit odlišný režim hydraulického a látkového zatížení. [39]

Srovnáním hodnot ukazatelů znečištění vyplývá, že surové odpadní vody z tlakové a podtlakové kanalizace vykazují vyšší koncentrace znečištění, ve srovnání s kanalizací gravitační. Jedná se hlavně o ukazatele, které jsou ovlivněny oxidačně-redukčními podmínkami v kanalizaci (obsahem rozpuštěného kyslíku v odpadní vodě), tedy BSK_5 , $CHSK$ a $N-NH_4^+$. Největší vliv na tyto vysoké koncentrace má skutečnost, že v domovních šachtách nebo čerpacích stanicích dochází k dlouhodobému zdržení odpadní vody. K oxidaci splašků dochází v gravitační kanalizaci (vliv na to má většinou velký spád v podélném profilu kanalizace), což má vliv zejména na ukazatele BSK_5 a $CHSK$. Poměr $BSK_5:CHSK$ činí na výstupu z gravitační, tlakové i podtlakové kanalizace v průměru přibližně 0,5. Tato hodnota vyplývá příznivě pro biologickou čistitelnost odpadní vody. [40]

Tabulka č. 22 - Přítokové a odtokové koncentrace odpadní vody na ČOV, která je koncovkou tlakové kanalizace (2009) [40]

Ukazatel	Místo	21.01.	24.03.	28.05.	29.07.	17.09.	09.12.	Min.	Max.	Průměr	Účinnost
[mg/l]											[%]
BSK ₅	Přítok	870	778	459	1377	565	450	450	1377	749,8	99,16
	Odtok	5,4	4	7	13	5	3,6	3,6	13	6,3	
CHSK	Přítok	2513	1324	1186	2320	1034	956	956	2513	1556	96,44
	Odtok	61	55	66	67	36	47	36	67	55,3	
NL	Přítok	1741	463	406	1518	284	216	216	1741	771,3	98,55
	Odtok	13	7	13	18	10	6	6	18	11,2	
N-NH ₄ ⁺	Přítok	55,9	105,6	90,5	101,1	50	110,4	50	110	85,6	66,25
	Odtok	0,83	0,23	10,09	9,84	2,38	0,19	0,2	10,1	3,9	

Tabulka č. 23 - Vyhodnocení kvality odpadní vody z podtlakového systému odkanalizování (2009) [40]

Ukazatel	Místo	21.01.	18.03.	20.05.	14.07.	15.09.	16.11.	Min.	Max.	Prům.
[mg/l]										
BSK ₅	ZT	249	620	880	460	400	370	249	880	496,5
CHSK	ZT	1530	473	1031	693	820	953	473	1530	916,7
NL	ZT	965	220	610	336	424	586	220	965	523,5
N-NH ₄ ⁺	ZT	85,36	100	124	56	143	118	56	143	104,4
N _{celk.}	ZT	128,4	109	138	72	168	159	72	168	129,1
P _{celk.}	ZT	15	11	21	15	17	16	11	21	15,8

Tabulka č. 24 - Vyhodnocení kvality odpadní vody z gravitačních, tlakových a podtlakových systémů odkanalizování [40]

Způsob dopravy	BSK ₅	CHSK	NL	N-NH ₄ ⁺	N _{celk.}	P _{celk.}
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Gravitační splašková kanalizace	351	768	217	38,8	44,5	10,2
Podtlaková kanalizace	497	916,7	524	104,4	129	15,8
Tlaková kanalizace	750	1555,5	771	85,6	–	8

V diplomové práci byly zohledněny všechny výše uvedené faktory. Z výsledků lze konstatovat, že při průměrných průtocích všechny čistírny výrazně neovlivní kvalitu vody v recipientu.

Pochopitelně ve všech uvedených ČOV se objevují výkyvy v kvalitě

vyčištěné odpadní vody. Nejvyšší hodnoty koncentrací téměř všech ukazatelů se objevují v zimních měsících, kdy nepříznivě nízké teploty zpomalují biologické procesy. Větší toky jako Moravská Sázava a Tichá Orlice se vyrovnávají se zhoršenou kvalitou přítoků z ČOV lépe, než toky malé – Čermenka a Dobroučka.

6 Závěr

Cílem diplomové práce bylo zhodnotit vliv vybraných malých ČOV na kvalitu vody v recipientu pod těmito čistírnami. Krátká příprava a několik základních měření bylo provedeno ne jedné z čistíren již v práci bakalářské. Byly hodnoceny 4 ČOV, které se liší jednak počtem připojených EO a jednak technologií čištění. Výsledky byly získány z pravidelných měsíčních odběrů vzorků po dobu 12 měsíců a byly vyhodnoceny podle platné české legislativy. Podle získaných a naměřených hodnot, lze učinit následující závěry:

- Při průměrných průtocích v recipientu žádná z čistíren odpadních vod tok negativně neovlivňuje.
- Z hydrologického hlediska představuje stav v době měření optimální nebo mírně zlepšené podmínky. Vyšší průtoky naředí vodu odtékající z ČOV, a tím se vyrovnají eventuelními problémy při vypouštění odpadních vod do recipientu.
- Problémy mohou nastat v době tání sněhu, kdy snížené teploty vody přitékající do ČOV negativně ovlivňují biologické čistící pochody.
- Pokud budou čistírny odpadních vod dodržovat příslušné limity, určené Nařízením vlády č.61/2003 o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací o citlivých oblastech, neměla by být kvalita toku negativně ovlivněna ani v budoucnu.

7 Seznam literatury

- [1] Směrnice evropského parlamentu a rady 2000/60/ES kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky. In: 2000.
- [2] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2006/11/ES o znečišťování některými nebezpečnými látkami vypouštěnými do vodního prostředí Společenství. In: 2006.
- [3] Směrnice Rady 91/676/EHS o ochraně vod před znečišťováním způsobeném dusičnany ze zemědělských zdrojů. In: 1991.
- [4] Směrnice Rady 75/440/EHS o požadované jakosti povrchových vod určených k odběru pitné vody v členských státech. In: 1975.
- [5] Směrnice Rady 91/271/ES o čištění městských odpadních vod. In: 1991.
Zákon č.254/2001 sb. o vodách a o změně některých zákonu - Vodní zákon. In: 2001.
- [6] Zákon č.254/2001 sb. o vodách a o změně některých zákonu - Vodní zákon. In: 2001.
- [7] Nařízení vlády č.63/2003 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových a odpadních vod. In: 2003.
- [8] Vyhláška č.293/2002 Sb. o poplatcích za vypouštění odpadních vod do vod povrchových. In: 2003.
- [9] ODBOR STÁTNÍ SPRÁVY VE VODNÍM HOSPODÁŘSTVÍ A SPRÁVY POVODÍ. *Zpráva o stavu vodního hospodářství ČR v roce 2011*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2012.
- [10] ČÍŽEK, P, F HEREL a Z KONÍČEK. *Stokování a čištění odpadních vod*. Praha: SNTL, 1970.
- [11] GRODA, Bořivoj, Tomáš VÍTĚZ, Martin MACHALA, Jan FOLLER, David SURÝNEK a Jaromír MUSIL. *Čištění odpadních vod jako nástroj k ochraně životního prostředí v zemědělské praxi a na venkově*. Brno: Ministerstvo zemědělství České republiky, 2007.
- [12] [online]. [cit. 2013-03-31]. Dostupné z: <http://pglbc.cz/files/chv/COV/vyznam.html>
- [13] [online]. [cit. 2013-03-31]. Dostupné z: <http://issar.cenia.cz/issar/page.php?id=1575>
- [14] [online]. [cit. 2013-04-02]. Dostupné z: <http://www.czso.cz/csu/2012edicniplan.nsf/p/2003-12>.

- [15] DANCKWERTS, P.V. Continuous flow systems: Distribution of residence times. *Chemical Engineering Science*. 1953, vol. 2, issue 1, s. 1-13.
- [16] RAMALHO, R. *Introduction to wastewater treatment processes*. 2nd ed. New York: Academic Press, 1983, ix, 580 p.
- [17] HLAVÍNEK, Petr a Jiří HLÁVÁČEK. *Čištění odpadních vod*. No. 2000, 1996.
- [18] BINDZAR, Jan. *Základy úpravy a čištění vod*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2009, 251 s.
- [19] DOHÁNYOS, Michal, Jan KOLLER a Nina STRNADOVÁ. *Čištění odpadních vod*. 2. vyd. Praha: VŠCHT, 1998, 177 s.
- [20] HENZE, M. *Wastewater treatment: biological and chemical processes*. 3rd ed. Berlin: Springer, 2002, 430 s.
- [21] FAIR, G.M., J.Ch. GEYER a D.A. OKUN. *Water and Wastewater Engineering, Vol.2 Water Purification and Wastewater Treatment and Disposal*. New York: John Wiley, 1968.
- [22] BENEDEK, P. a I. HORVÁTH. A practical approach to activated sludge kinetics. *Water Research*. 1967, vol. 1, issue 10, s. 663-682.
- [23] VAVILIN, V a V.B. VASILYEV. Mathematical models of biological waste treatment processes for the design of aeration tanks. *Water Research*. 1978, vol. 12, issue 7, s. 491-501.
- [24] KAEDING, J. W. Fresenius, K.-E. Quentin und W. Schneider (Eds.): *Water Analysis*. Berlin – Heidelberg – New York, Springer Verlag, 1988, 804 S., 178 Abb., 55 Tab., DM 148, *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*. 1989, vol. 17, issue 2, s. 200-200.
- [25] WANNER, J., M. SYKORA, M. KOS, J. MIKLENDÁ a P. GRAU. Packed-cage RBC with combined cultivation of suspended and fixed-film biomass. *Water Science and Technology*, 1990, vol.22, s. 101-111.
- [26] BENEFIELD, L.D. a C.W. RANDALL. *Biological Process Design for Wastewater Treatment*. New York: Prentice-Hall, 1997.
- [27] ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, Jana. *Encyklopedie hydrobiologie*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006.
- [28] JUNGBLUT, J., M. SIEVERS, A. VOGELPOHL, B.R. BRACIO a D.P.F. MÖLLER. Dynamic simulation of wastewater treatment: the process of nitrification. *Simulation Practice and Theory*. 1997, vol. 5, 7-8, s. 689-700.

- [29] STÜVEN, Ralf a Eberhard BOCK. Nitrification and denitrification as a source for NO and NO₂ production in high-strength wastewater. *Water Research*. 2001, vol. 35, issue 8, s. 1905-1914.
- [30] SEKERKOVÁ, Anna. *Kanalizace a ČOV Horní a Dolní Čermná - Technická zpráva*. 2008.
- [31] HEŘMAN, Jiří. *Kanalizace a ČOV Dolní Dobrouč I. etapa - souhrnná technická zpráva*. 2008.
- [32] FIEDLER, Lubomír. *Provozní řád pro trvalý provoz ČOV Jablonné nad Orlicí*. Jablonné nad Orlicí, 2007.
- [33] KALMUS, Martin. *ČOV Výprachtice - Technická zpráva*. 2005.
- [34] PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. vyd. Praha: VŠCHT, 2009, viii, 579 s.
- [35] ROBYN L. JOHNSON, Robyn L. Kelly Redding. *Water quality with vernier: water quality tests using vernier sensors*. Beaverton, OR: Vernier Software, 2007.
- [36] DIVIŠ, Marián. *Monitorování vod*. SPŠ Karviná, 2005.
- [37] HORÁKOVÁ, Marta. *Analytika vody*. Vyd. 2., opr. a rozš. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2003, 335 s.
- [38] ČSN 75 7221 - *Jakost vod - Klasifikace jakosti povrchových vod*. Český normalizační institut, 1998.
- [39] *Optimalizace inženýrských úloh ve stokování: mezinárodní workshop organizovaný ÚVHO FAST VUT v Brně s podporou grantu GA ČR a VVZ FAST VUT v Brně ; duben 2000*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2000, 204 s.
- [40] HLAVÍNEK, Petr. *Příručka stokování a čištění*. Vyd. 1. Brno: NOEL 2000 s.r.o., 2001, vi, 251 s.